



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Físicas**

**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos**

**“Cálculo para la extensión de red para alimentación de  
1003 m<sup>3</sup>/h de gas natural para el grifo Primax  
Montreal”**

**MONOGRAFÍA TÉCNICA**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

**AUTOR**

Juan Agustin CAMPOS CORREA

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Campos, C. (2018). *Cálculo para la extensión de red para alimentación de 1003 m<sup>3</sup>/h de gas natural para el grifo Primax Montreal*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

9-R  
10-65  
Jonepe

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS POR LA MODALIDAD  
M3, SUFICIENCIA PROFESIONAL

Siendo las 16:00 horas del día jueves 28 de junio de 2018 en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del MSc. Ing. WILSON EMILIO ALVARADO TORRES y con la asistencia del Mg. Ing. ELMER RAÚL VARGAS RONCAL y del Mg. Ing. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ, miembros del Jurado Examinador de Monografía Técnica, de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de titulación profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica en la que el Bachiller JUAN AGUSTIN CAMPOS CORREA puso a consideración del Jurado Examinador su trabajo de Monografía Técnica como parte de los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos por la Modalidad M3, Suficiencia Profesional.

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente e invitó al Bachiller JUAN AGUSTIN CAMPOS CORREA, a realizar la exposición de su trabajo titulado "CÁLCULO PARA LA EXTENSIÓN DE RED PARA ALIMENTACIÓN DE 1003 M3/H DE GAS NATURAL PARA EL GRIFO PRIMAX MONTREAL" durante un tiempo de 30 minutos.

Concluida la exposición del candidato, y luego de las preguntas de rigor de parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación correspondiente. Se procedió a promediar la nota final obtenida en los cursos del Ciclo de Actualización Profesional (CAP), y el resultado se promedió a su vez con la nota de sustentación de la monografía para hallar el promedio final.

Al término de la deliberación del jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida, la misma que fue:

Diecisiete 17.0

El Presidente del Jurado Examinador, MSc. Ing. WILSON EMILIO ALVARADO TORRES, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller JUAN AGUSTIN CAMPOS CORREA Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 17:30 horas del mismo día, se levantó la sesión.

MSc. Ing. WILSON EMILIO ALVARADO TORRES  
Presidente del Jurado Examinador

Mg. Ing. ELMER RAÚL VARGAS RONCAL  
Miembro del Jurado Examinador

Mg. Ing. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ  
Miembro del Jurado Examinador

**Dedicatoria.**

Dedico esta monografía técnica a mis padres Rogelia y Donato; a mi esposa Natalia a mi hijo Noah Alessando Joaquín.

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi madre, por los consejos brindado e inculcarme los principios y valores para poder alcanzar mis objetivos.

A mi hermana Karen Campos por apoyarme en las últimas semanas.

A mis profesores y compañeros de la Escuela Académica Profesional Ingeniería Mecánica de Fluidos, por haber por compartir sus conocimientos y experiencias conmigo.

Al Ingeniero Christian Montenegro por guiarme y transmitirme toda su experiencia laboral.

## **Resumen**

El gas natural ha tenido un papel importante a lo largo de la historia para el desarrollo humano. El gas natural surge de la descomposición de materia orgánica que a ciertas condiciones de presión y temperatura en un periodo de millones de años. El gas natural se puede encontrar de manera asociado y no asociado, el cual depende de la ubicación del yacimiento. El gas natural y el gas licuado de petróleo son combustibles fósiles pero diferentes en cuanto a su composición, obtención, procesamiento, transporte y comercialización. La finalidad de la monografía describe el dimensionamiento para la extensión de red el tipo de tubería el diámetro correcto, el espesor adecuado para poder transportar el gas natural para el grifo PRIMAX MONTREAL para poder cumplir el funcionamiento correcto del compresor y así poder abastecer de manera óptima los dispensadores. (OSINERGMIN, 2014).

## **Abstract**

Natural gas has played an important role throughout history for human development. Natural gas arises from the decomposition of organic matter that under certain conditions of pressure and temperature over a period of millions of years. Natural gas can be found in an associated and non-associated manner, which depends on the location of the deposit. Natural gas and liquefied petroleum gas are fossil fuels but different in terms of their composition, procurement, processing, transport and marketing. The purpose of the monograph describes the dimensioning for the extension of the network the type of pipe the correct diameter, the adequate thickness to be able to transport the natural gas for the PRIMAX MONTREAL tap to be able to fulfill the correct functioning of the compressor and thus be able to supply optimally the dispensers. (OSINERGMIN, 2014).

Palabras clave: red de gas, caída de presión, diámetro de tubería

## Tabla de Abreviatura

GLP:	Licuado de petróleo
PMg:	Peso molecular del gas
PSI:	libra sobre pulgada al cuadrado
GE:	Gravedad específico
$\rho$ :	Densidad del gas.
$\mu$ :	Viscosidad del gas (ug)
Z:	Factor de compresibilidad del gas (Z)
Bg:	Factor volumétrico de formación del gas (Bg)
v:	Volumen específico (v)
Cg:	Compresibilidad isotérmica del gas (Cg).
M <sub>a</sub> :	Peso Molecular aparente de una mezcla de gas.
M <sub>i</sub> :	Peso molecular del componente i en la mezcla.
y <sub>i</sub> :	Fracción molar del componente i en la mezcla.
$P_{pc}$ :	Presión Crítica.
$T_{pc}$ :	Temperatura Crítica.
Q:	Caudal
W:	Constante de Weymouth.
Z:	Factor de compresibilidad del gas.
E:	Coefficiente de eficiencia.
P <sub>i</sub> :	Presión absoluta al inicio del tramo en kg/cm <sup>2</sup> .
P <sub>f</sub> :	Presión absoluta al final del tramo kg/cm <sup>2</sup> .
L <sub>E</sub> :	Longitud de cálculo del tramo de tubería en km.
$P_m$ :	Presión media
S:	Tensión de fluencia
D:	Diámetro nominal exterior de la tubería
T:	Espesor nominal de pared de la tubería
F:	Factor de diseño (adimensional)
E:	Factor de la junta longitudinal (adimensional)
T:	Factor de temperatura (adimensional)



## INDICE

Capítulo 1. Introducción e información general.....	10
1.1. Generalidades .....	10
1.2. Planteamiento del problema y problemática.....	10
1.2.1. Planteamiento del problema.....	10
1.2.2. Problemática.....	11
1.3. Objetivo de la monografía.....	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivo específico.....	12
1.4. Limitación del tema.....	12
Capítulo 2. Marco teóricos.....	13
2.1. Hidrocarburos.....	13
2.2. El gas natural.....	13
2.3. Propiedades del gas natural.....	14
2.3.1. Peso molecular del gas.....	15
2.3.2. Gravedad específica.....	16
2.3.3. Densidad del gas.....	16
2.3.4. Viscosidad del gas.....	17
2.3.5. Factor de compresibilidad del gas.....	17
2.3.6. Factor volumétrico del gas.....	20
2.3.7. Volumen específico.....	20
2.3.8. Compresibilidad isotérmica del gas.....	20
2.3.9. Flujo de gas en tubería.....	21
2.4. Fundamentos de flujo.....	22
2.5. Composición del gas natural.....	24
2.6. Beneficios del combustible gas natural.....	25
2.7. Normas técnicas nacionales e internacionales del tendido de tubería para el uso del gas natural.....	25
2.7.1. Nacional.....	25
2.7.2. Internacional.....	26
Capítulo 3. Desarrollo del tema.....	27
3.1. Condiciones iniciales.....	27

3.2. Componentes del sistema de gas natural vehicular.....	28
3.3. Plano de la extensión de red a ejecutar.....	29
3.4. Calculo del diseño para el tendido de la tubería.....	30
3.5. Dimensionamiento de la tubería.....	30
3.5.1. Formulas a usar.....	31
3.5.2. Tabla a usar para los cálculos del dimensionamiento de la Tubería.....	34
3.6. Datos iniciales.....	41
3.7. Calculo de la velocidad.....	41
3.8. Calculo del espesor de la tubería.....	43
3.9. Calculo de la longitud equivalente.....	45
3.10. Constante de Weymouth.....	46
3.11. Numero de Reynolds.....	49
3.11.1. Calculo de la viscosidad del gas natural a presiones de 10 bar.....	52
3.11.2. Calculo de la densidad del gas natural.....	53
3.11.3. Calculo del número de Reynolds.....	53
Conclusiones	
Recomendaciones	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Propiedades principales del gas natural extraído del pozo de Camisea	15
<b>Tabla 2.</b> Valores de rugosidad para los materiales más usados en tubería.....	21
<b>Tabla 3.</b> Composición del gas natural.....	24
<b>Tabla 4.</b> Descripción del proyecto.....	27
<b>Tabla 5.</b> Constante de Weymouth.....	34
<b>Tabla 6.</b> Factor de compresibilidad.....	35
<b>Tabla 7.</b> Coeficiente de eficiencia.....	36
<b>Tabla 8.</b> Clase de localidad.....	37
<b>Tabla 9.</b> Factor básico de diseño.....	37
<b>Tabla 10.</b> Factor junta longitudinal.....	38
<b>Tabla 11.</b> Factor de variación por temperatura.....	39
<b>Tabla 12.</b> Tensión mínima de fluencia.....	40
<b>Tabla 13.</b> Longitud equivalente representativa.....	40
<b>Tabla 14</b> Peso Molar.....	49
<b>Tabla 15.</b> Fracción en peso por cada componente.....	50
<b>Tabla 16</b> Valores de Presiones y temperaturas pseudocriticas para cada Componente.....	51

**Lista de figura**

<b>Figura 1.</b> Factor de compresibilidad $z$ de los gases ideales.....	18
<b>Figura 2.</b> Componentes del sistema de gas natural vehicular. ....	28
<b>Figura 3.</b> Plano del Proyecto MONTREAL.....	29

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUCCION E INFORMACION GENERAL**

### **1.1 Generalidades**

La Empresa Gas Natural de Lima y Callao S.A. en su calidad de Concesionaria del Gobierno Peruano para la distribución de Gas Natural Para las Ciudades de Lima y Callao, el cual ejecutara un proyecto integral que contempla el estudio, construcción, operación comercial y mantenimiento de una red de ductos para distribución de gas natural. Dentro de estos alcances, Gas Natural de Lima y Callao ha construido una extensión de red y tubería de conexión para interconexión al Sistema de Gas Natural de la Estación PRIMAX MONTREAL, en el distrito de Santiago de Surco en el cruce de la Av. Benavides y Caminos del Inca, se instaló una válvula de servicio con extensora de Ø 3 pulgadas que deriva de un empalme de una válvula existente ubicada entre el cruce de la Av. Caminos del Inca con Ca. Monserrate (CONSTRUCERT, 2011).

Los cálculos se realizaron cumpliendo con los requisitos exigidos por las normas correspondientes y el reglamento Nacional de Edificaciones y la Ordenanza N° 203 del Reglamento para la ejecución de obras en Área de Dominio Público (p, 3).

### **1.2 Planteamiento del problema y problemática**

#### **1.2.1 Planteamiento del problema**

El proyecto de la extensión MONTREAL se realizó en una avenida de alto tránsito de clase 4 con edificios de cuatro pisos a más en su alrededores sobre el nivel del terreno, la zona es de alto tránsito para el empalme de la válvula existente en el recorrido del cruce de la Av. MONSERRATE con Av. CAMINOS DEL INCA de aproximadamente un metro de 311.97, se realizará un cruce en condiciones especial de 34 metros en el cruce de la Av. BENAVIDES con Av. CAMINO DEL INCA para el cual se tuvo que presentar los permisos especiales a la Municipalidad (CONSTRUCERT, 2011).

### 1.2.2 Problemática

El desplome de los precios del petróleo a nivel mundial es bastante crítica sobre todo en los países que no estaban preparados para la situación, lo que ha obligado a los países a redefinir sus políticas energéticas. Los principales productores mundiales de gas licuado de petróleo son: Estados Unidos, Arabia Saudita y China, la producción a través de aceite exquisito y de gas exquisito, está cambiando los mercados mundiales a una mayor producción de Gas licuado de petróleo, los nuevos hallazgos y desarrollos en los campos de gas exquisitos, son una potente alternativa para la mayor producción de Gas licuado de petróleo. Su capacidad instalada de exportación superó los 3 millones de toneladas en el 2010 y se proyecta a superarlas a los 30 millones de toneladas anuales.

El impacto de producción de gas natural de exquisito incrementaron la producción de gas licuado de petróleo en Norteamérica, con una capacidad de 35 millones de toneladas anuales, el cual se reflejara en una mayor exportación a países como Sudamérica, con este nuevo escenario en la industrial mundial, los Estados Unidos tendrá la capacidad para llevar gas licuado de petróleo a los países más importantes del mundo. (UPME, 2017)

La falta de abastecimiento de gas licuado de petróleo en el Perú ha tenido que salir a pedir calma a la población ante la situación de escasez en Lima, el gas licuado de petróleo el cual se usa como combustible de manera residencial, industrial y automovilístico, por el cual el Ejecutivo tuvo que salir indicando que pueden atender el mercado interno e incluso la exportación del combustible, en algunos lugares del país el incremento del combustible alcanzó un alza del 10%. La crisis puso en evidencia la deficiencia de la infraestructura del país para el abastecimiento del combustible tanto en el mercado de uso residencial, industrial y vehicular. Expertos en hidrocarburos, indican que este tema está relacionado con cuán importante es el GLP en el consumo del país. Y si es importante, se debe seguir con la promesa de la masificación del gas natural en el ámbito de uso doméstico, industrial y vehicular. (OSINERGMIN, 2010)

### **1.3 Objetivo de la monografía**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar los cálculos de ingeniería para la ampliación de la tubería de Gas Natural que asegure el transporte de 1003 m<sup>3</sup>/h a una presión de 10 bar desde la válvula de empalme existente hasta la válvula de servicio.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar y seleccionar el Diámetro y tipo de tubería a realizar para el transporte de gas natural.
- Hallar la presión final a la entrada de la válvula de servicio para la estación de grifo PRIMAX, además de estimar la caída de presión en el nuevo conducto.
- Determinar el espesor de la tubería adecuada para el transporte del fluido.
- Hallar el tipo de flujo en la tubería.

### **1.4 Limitaciones del tema**

La presente monografía se limita al cálculo del diámetro y el espesor de la tubería a usar para la extensión de red como el tipo de flujo en el que se encuentra el fluido, teniendo en cuenta los parámetros de caudal, presión y longitud real.

## **CAPÍTULO 2 – MARCO TEORICOS.**

### **2.1. Hidrocarburo**

Kumar (1987) plantea las dos teorías más aceptadas del origen de los fluidos petroleros:

- La teoría inorgánica.
- La teoría orgánica.

De acuerdo a la teoría inorgánica, el hidrogeno reacciona con el carbono, elementos que se encontraron sometidos a presiones altas y temperaturas elevadas debajo de la superficie de la tierra, que genero la formación de gas y aceite. Tiempo después dichos hidrocarburos migran a través de las porosidades de la roca y se agruparon en trampas de sub superficiales.

La teoría orgánica que es la más aceptada, indica que los hidrocarburos se generaron a partir de descomposición de material orgánico el cual estuvo sujeto a ciertas condiciones de presión y temperatura durante cierto tiempo geológico, las capas de materiales se depositaron sobre dichos organismos muertos desplazando grandes cantidades de sedimentos al interior del océano. Posteriormente, fueron compactados por nuevos sedimentos y así formaron las rocas sedimentarias. Las acumulaciones de hidrocarburo fueron generados en rocas, tales como lutitas y calizas y pudieron migrar desde su origen a través de rutas de migración hacia horizontes porosos y permeables. (De los Ángeles, 2015)

### **2.2. El gas natural**

Dado la reducción del recurso natural no renovable de petróleo, Frente a la reducción de las reservas de petróleo, se ha vuelto la mirada hacia el gas natural para la utilización tanto como para la generación de electricidad, vehículos de transporte terrestre, industria, comercio, residencia. En el sector Industrial se podría destacar en área de siderurgia, metalurgia, cerámica textil, química, plantas pesqueras, producción de abono son las principales ramas de consumidores de gas natural. La Composición del gas natural incluye diversos



hidrocarburos gaseosos, con predominio del metano y en proporciones menores etano, propano, butano, pentano y pequeñas proporciones de gas inertes como el dióxido de carbono y nitrógeno. El gas natural es incoloro, inodoro, insípido, se le tiene que añadir un agente químico que le da un olor, con el propósito de detectar una posible fuga de gas. Además por su densidad de 0.60 a una presión de 1 atm, inferior a la del aire, el gas natural tiene tendencia a elevarse y puede, consecuentemente, desaparecer fácilmente del sitio donde se encuentre por cualquier grieta. (Pezo, 2010)

A partir de su descubrimiento el gas natural se ha convertido en una de las fuentes más importante de energía para el hombre moderno, tanto para el uso de modo doméstico, generación de energía, industrial, vehicular, explotación, producción, almacenamiento, tratamiento y distribución. A medida que la demanda de combustible gaseosa aumenta, se ha visto la necesidad de voltear su atención al estudio de los procesos de separación y deshidratación y desulfuración del gas natural, para aplicar sus conocimientos y poder alcanzar los requerimientos necesarios para la refinación y cumplir los estándares para la calidad de comercialización del gas natural. (De los Ángeles, 2015)

### **2.3. Propiedades del gas natural**

La composición del gas natural varía según el punto de ubicación de pozo, sin embargo se puede indicar que incluye diversos hidrocarburos gaseosos varía con la localización del pozo gasífero, sin embargo se puede indicar que el porcentaje del metano se encuentra entre el 91 a 95%.

Tabla 1. Propiedades principales del gas natural extraído del pozo de Camisea.

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad relativa		0,65
Poder Calorífico	Kcal/m <sup>3</sup>	9032
Calor Especifico a Presión Constante (Cp)	Cal/mol°C	8,57
A Volumen constante (Cv)	Cal/mol°C	6,56
Peso atómico	uma	16,04
Punto de fusión	°C	-182,04
Punto de Ebullición	°C	-161,6
Flash Point	°C	-188,0
Temperatura de ignición	°C	60,0
Límites de explosividad	%	5-15
Calorías por gramo	Kcal	12

Fuente: Gas de Camisea para Lima y Callao “GNLC”.

Entre las propiedades podemos encontrar:

1. Peso molecular del gas (PMg).
2. Gravedad específico (GE).
3. Densidad del gas.
4. Viscosidad del gas (ug).
5. Factor de compresibilidad del gas (Z).
6. Factor volumétrico de formación del gas (Bg).
7. Volumen específico (v).
8. Compresibilidad isotérmica del gas (Cg).

### 2.3.1. Peso molecular del gas (pmg)

Es la unión de la de los pesos moleculares de cada elemento que conforman el gas natural. Las unidades del peso molecular son: kgr/kmol o lb/lbmol.

El gas natural, es una mezcla de componentes y es por ello que el peso molecular de gas se obtiene sumando la fracción molar de cada i-esimo componente por su respectivo peso molecular. (De los Ángeles, 2015)

$$M_a = \sum_{i=1} y_i M_i \quad \dots\dots\dots [1]$$

$M_a$  - Peso Molecular aparente de una mezcla de gas.

$M_i$  - Peso molecular del componente i en la mezcla.

$y_i$  - Fracción molar del componente i en la mezcla.

### 2.3.2. Gravedad específica (GE)

Es la relación de la densidad de una sustancia a la densidad de una sustancia referencia. Para efectuar la relación entre ambas sustancias, es necesario que ambas se encuentren a la misma presión y temperatura. Si asumimos un comportamiento de gas ideal para ambas sustancias, la gravedad específica se puede expresar en función de los pesos moleculares de cada sustancia. (Carrillo, 2013) (Guerrero, 2013) (La Comunidad Petrolera)

$$GE = GE_{gas} / GE_{aire} \quad \dots\dots\dots [2]$$

$$GE = GM_g / PM_{aire} \quad \dots\dots\dots [3]$$

Siendo el peso molecular del aire seco = 29 lb/lb mol

Ambas relaciones son válidas y su unidad es: adimensional.

### 2.3.3. Densidad del gas

Es la relación entre masa y el volumen de una sustancia en estudio. En el caso del gas natural se puede demostrar que la densidad del mismo será:

$$pV = nRT$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$pV = \left( \frac{m}{M} \right) RT$$

$$P_g = \left( \frac{m}{V} \right) = \frac{pM}{RT} \quad \dots\dots\dots [4]$$

$P_g$  - densidad de la mezcla de gas lb/ft<sup>3</sup>

$M_a$  - Peso molecular aparente de una mezcla de gas. (De los Ángeles, 2015)

1

#### 2.3.4. Viscosidad del gas

Es la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad del esfuerzo cortante, que se aplica a una porción de fluido para que adquiera movimiento (viscosidad dinámica)

Hay distintos tipos de viscosidad, siendo las de mayor estudio la dinámica y la cinética, siendo esta última resistencia que se genera al fluir un fluido bajo efecto de la gravedad.

La viscosidad de los gases tendrá el siguiente comportamiento:

- A bajas presiones (menos a 1500 PSI), un aumento de la temperatura aumentará la viscosidad del gas.
  - A altas presiones (mayor a 1500 PSI), un aumento de la temperatura disminuye la viscosidad.
  - A cualquier temperatura, si se aumenta la presión la viscosidad aumenta.
  - La viscosidad será mayor, a medida que el gas posea componentes más pesados.
- (De los Ángeles, 2015)

#### 2.3.5. Factor de compresibilidad del gas (Z):

Es un factor de corrección introducido en la ecuación general de los gases y será obtenido experimentalmente dividiendo el volumen real de  $n$  moles de un gas a presión y temperatura, por el volumen ideal ocupado por la misma masa de gas a iguales condiciones de presión y temperatura.

La ecuación a usar será de los gases ideales pero con el factor  $z$  como corrección:

El factor  $Z$ , es función de propiedades pseudo reducidas es decir,  $Z=f(P_{pr}, T_{pr})$ .

$$pV = ZnRT \quad \dots\dots\dots [5]$$

El factor  $Z$ , es función de propiedades pseudo reducida, es decir,  $Z=f(P_{pr}, T_{pr})$ .

---

<sup>1</sup> [4], (CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL, 2015, P47)

Por ello es necesario encontrar una serie de parámetros que nos permitirán encontrar el factor  $Z$ , entrando en una gráfica adecuada, con  $P_{pr}$  y  $T_{pr}$ . (Carrillo, 2013; Guerrero, 2013).

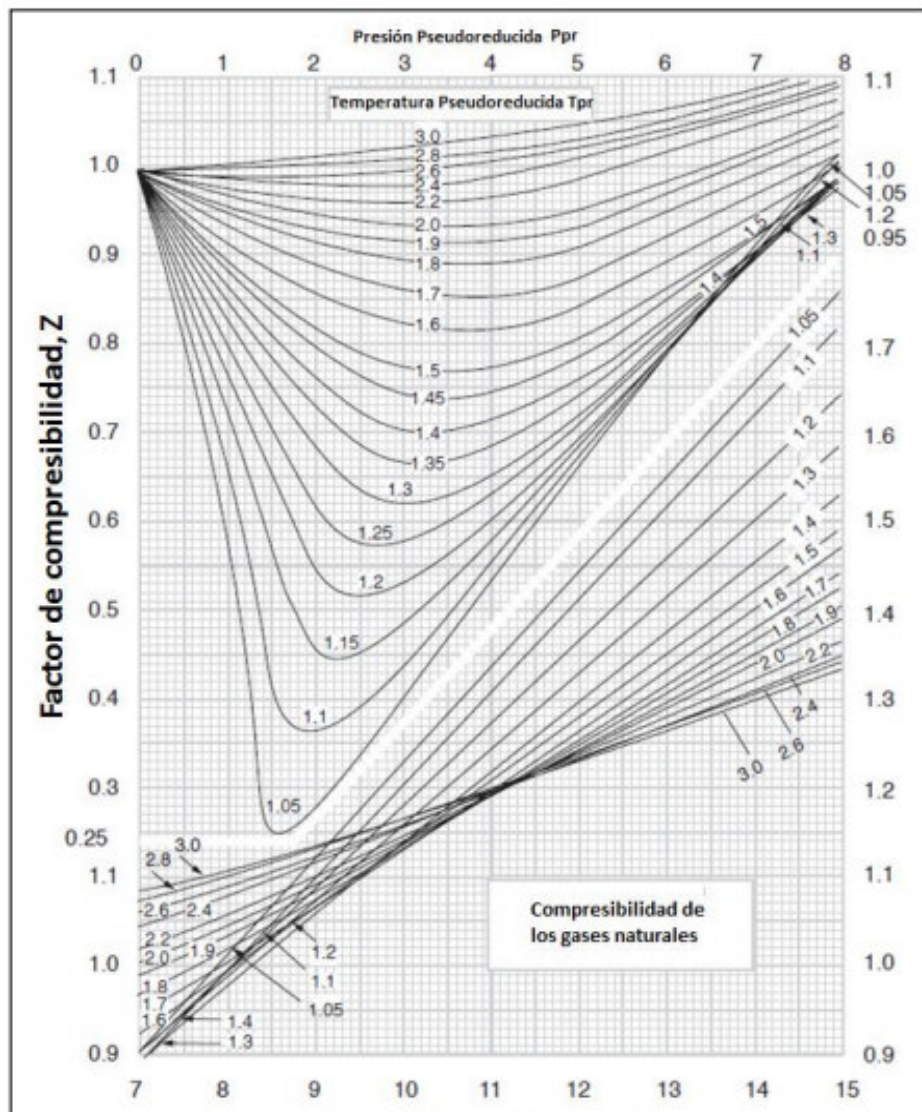


Figura 1. Factor de compresibilidad  $z$  de los gases ideales

Fuente: Modificado de Heriot –Watt

Para hallar las propiedades pseudo críticas se pueden determinar a través de las composiciones molares de cada componente del gas natural o a través de la gravedad específica del mismo.

Para determinar  $Z$ , por la gráfica es necesario conocer algunos parámetros que se enuncian a continuación:

$$P_{pc} = \sum_{i=1} y_i P_{ci}$$

$$T_{pc} = \sum_{i=1} y_i T_{ci}$$

$$T_{pc} = 168 + 32.5\gamma_g - 12.5\gamma_g^2$$

$$P_{pc} = 667 + 15\gamma_g - 37.5\gamma_g^2$$

Con las propiedades pseudocríticas hallas las pseudoreducidas y con estas el valor de Z en la gráfica.

$$P_{pr} = \frac{P}{P_{pc}} \quad \quad \quad 2 \quad \quad \quad \dots\dots[6]$$

$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}} \quad \quad \quad \dots\dots [7]$$

Para cuando el gas posee componentes no hidrocarburos será necesario introducir una corrección de las propiedades pseudo críticas, la cual se determinara por medio de las siguientes ecuaciones, y obtenidas las propiedades pseudo reducida, hallar el factor Z.

Ahora vamos a corregir por la presencia de sulfuro de hidrogeno y dióxido de carbono. El error E, se puede determinar gráficamente o analíticamente por la ecuación suministrada.

$$T'_{pc} = T_{pc} - \varepsilon$$

$$P'_{pc} = \frac{P_{pc} T'_{pc}}{T_{pc} + B(1-B)\varepsilon}$$

$$A = y_{H_2S} + y_{CO_2}$$

B - fracción de moles H<sub>2</sub>S

Con las correcciones ya hechas, volvemos al cálculo de las propiedades pseudo reducidas y hallamos Z de la gráfica.

---

<sup>2</sup> [6], [7], (CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL, 2015, P40)

$$P_{pr} = \frac{p}{P_{pc}}$$

$$T_{pr} = \frac{T}{T_{pc}}$$

### 2.3.6. Factor volumétrico de formación del gas (bg):

Es un factor que relaciona el volumen de gas en el yacimiento a presión y temperatura con el volumen de la misma masa de gas en superficie a condiciones normales presión de 14.7 psi y 60°F. (BECERRA, 2011)

### 2.3.7. Volumen específico (v).

Es definido como el volumen ocupado por una masa de gas, es decir, el volumen dividido entre la masa. Para gas ideal es el inverso de la densidad. (BECERRA, 2011)  
(La Comunidad Petrolera)

$$V = \frac{V}{M} = \frac{RT}{pM_a} = \frac{1}{P_g} \quad \dots\dots [8]$$

### 2.3.8. Compresibilidad isotérmica del gas (cg):

La variación de la compresibilidad de un fluido con la presión y temperatura es de gran importancia para los cálculos de ingeniería de yacimientos. Para una fase líquida, la compresibilidad es pequeña y se asume en ocasiones constante, pero para los gases no sucede lo mismo. La compresibilidad isotérmica del gas es el cambio en el volumen por unidad de cambio de presión. (BECERRA, 2011)

### 2.3.9. Flujo de gas en tubería.

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya

que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

El manejo de los fluidos en superficie provenientes de un yacimiento de petróleo o gas, requieren de la aplicación de conceptos básicos relacionado con el flujo de fluidos en tuberías en sistemas sencillos y en red de tuberías, el uso de válvulas accesorios y las técnicas necesarias para diseñar y especificar equipos utilizados en operaciones de superficie.

Los fluidos de un yacimiento de petróleo son transportados a los separadores, donde se separan las fases líquidas y gaseosas. El gas debe ser comprimido y tratado para su uso posterior y el líquido formado por petróleo agua y emulsiones debe ser tratado para remover el agua y luego ser bombeado para transportarlo a su destino. (Alvarez, 2012)

Tabla 2 - Valores de rugosidad para los materiales más usados en tuberías

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	liso	liso
Plástico	$3 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$
Tubo extruido, cobre, latón y acero	$1.5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-3}$

Fuente: Applied Fluid Mechanic (Robert L. MOTT)



## **2.4. Fundamentos de flujo**

### **Clasificación del flujo.**

El movimiento de los fluidos puede clasificarse de muchas maneras, según diferentes criterios y según sus diferentes características, este puede ser:

#### **a) Flujo Turbulento**

El flujo turbulento es más comúnmente desarrollado debido a que la naturaleza tiene tendencia hacia el desorden y esto en términos de flujos significa tendencia hacia la turbulencia. Este tipo de flujo se caracteriza por trayectorias circulares erráticas, semejantes a remolinos. El flujo turbulento ocurre cuando las velocidades de flujo son generalmente muy altas o en fluidos en los que las fuerzas viscosas son muy pequeñas.

La turbulencia puede originarse por la presencia de paredes en contacto con el fluido o por la existencia de capas que se muevan a diferentes velocidades. Además, un flujo turbulento puede desarrollarse bien sea en un conducto liso o en un conducto rugoso.

También se presenta como tema de aplicación la turbulencia atmosférica y la dispersión de contaminantes. (Alvarez, 2012)

### **Características y Desarrollo**

En el flujo turbulento las partículas se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas. El flujo es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales. La turbulencia según la definición de Taylor y von Kármán, puede producirse por el paso del fluido sobre superficies de frontera, o por el flujo de capas de fluido, a diferentes velocidades que se mueven una encima de la otra

#### **Tipos de Turbulencia:**

- Turbulencia de pared: generada por efectos viscosos debida a la existencia de paredes.

- Turbulencia libre: producida en la ausencia de pared y generada por el movimiento de capas de fluido a diferentes velocidades.

Diferentes teorías han tratado de explicar el origen y la estructura de la turbulencia. Algunas explican que la turbulencia es debida a la formación de vórtices en la capa límite, como consecuencia de los disturbios que se generan por discontinuidades bruscas existentes en la pared; mientras que otras teorías atribuyen la turbulencia a la influencia del esfuerzo cortante, cuando se presenta un gradiente de velocidades con discontinuidades bruscas. Sin embargo a pesar de las múltiples investigaciones, los resultados obtenidos sobre el desarrollo de la turbulencia no son totalmente satisfactorios, ya que solo pueden estudiarse experimental y teóricamente como un fenómeno estadístico. (Alvarez, 2012)

#### **Factores que hacen un flujo se torne turbulento:**

- La alta rugosidad superficial de contacto con el flujo sobre todo cerca al borde de ataque y a altas velocidades, irrumpe en la zona laminar de flujo y lo vuelve turbulento.
- Alta turbulencia en el flujo de entrada. En particular para pruebas en túneles de viento, hace que los resultados nunca sean iguales entre dos túneles diferentes.
- Gradientes de presión adversos como los que se genera en cuerpos gruesos, penetran por atrás el flujo y a medida que se desplazan hacia delante lo “arrancan”.

Calentamiento de la superficie por el fluido asociado y derivado del concepto de entropía, si la superficie de contacto será muy caliente, transmitirá esa energía al fluido y si esta transferencia es lo suficientemente grande se pasara a flujo turbulento. (Alvarez, 2012)

#### **b) Flujo laminar**

Es uno de los dos tipos principales de flujo en fluido. Se llama flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En

un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente. En flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular.

El flujo laminar es típico de fluidos a velocidades bajas o viscosidades altas, mientras fluidos de viscosidad baja, velocidad alta o grandes caudales suelen ser turbulentos.

El número de Reynolds es un parámetro adimensional

## 2.5. Composición del gas natural

La composición del gas natural depende mucho del yacimiento de donde se encuentre en la cual se observa que el Metano y el Etano son los elementos predominantes con cerca del 92% del total, además de una mínima proporción de gases inertes.

El resto de los componentes está representado por los líquidos de gas natural, que una vez fraccionados producen gas licuado de petróleo. (Pezo, 2010)

Tabla 3. Composición del Gas Natural

Componente químico del Gas Natural	Volumen (%)
Metano	88.166
Etano	10.284
Propano	0.535
Iso butano	0.025
Pentano	0.003
Dióxido de carbono	0.262
Nitrógeno	0.725

Fuente: Gas de Camisea para Lima y Callao “GNLC”

## 2.6. Beneficios del combustible gas natural

El gas natural es el combustible que genera menos contaminante al medio ambiente, dado que su combustión no genera gases tóxicos ni residuos. Su

transporte y distribución se realiza mediante tuberías subterráneas por lo que no daña el paisaje ni atenta contra la vida animal o vegetal. A mucha diferencia el GLP es distribuido en balones utilizando vehículos pesados el cual genera contaminación ambiental.

El precio del gas natural es el más cómodo en el mercado (s/. 1,44 el litro; s/. 1,45 GLP por litro; el diésel s/. 9,84 soles el galón USA); el cual nos permite obtener ahorros en relación con otros combustibles. (Pezo, 2010)

El gas natural puede sustituir los siguientes combustibles.

- Diésel.
- Residuales.
- Gas
- licuado de petróleo (GLP).
- Kerosene.
- Carbón.
- Leña.

## **2.7. Normas técnicas nacionales e internacionales del tendido de tubería para uso del gas natural**

Para la elaboración de la monografía se consideró las siguientes normas, procedimientos y reglamentos:

### **2.7.1. Nacional**

*Reglamento de distribución del gas natural por red de ductos – decreto supremo n° 042-99-em.2008:* Describe los registros, instrumentos y materiales necesarios para realizar una soldadura, prueba hidrostática, protección a la corrosión de la soldadura en línea, a su vez la capacitación que deben tener los trabajadores sobre el uso correcto de implementos de seguridad cuando ocurran daños a otros servicios (Afectaciones a cable de luz, telefonía, ductos de agua y desagüe). (Pezo, 2010)

### 2.7.2. Internacionales.

*API Standard 1104 (American Petroleum Institute Edición 1999):* La norma API cubre la validación de la soldadura y se aplica para construcciones nuevas como las que se encuentran en servicio.

La soldadura se realizó por el proceso GTAW (Soldadura por Arco Eléctrico), se realizó de forma manual el proceso de soldadura y se realizó Ensayos No Destructivos de Radiografía y Ultrasonido, como los estándares de aceptación para los ensayos destructivos. (Pezo, 2010)

*ASME b31.8-1999 (American Society Mechanical Engineer Edición 1999):* La norma ASME indica los requerimientos que se debe considerar para el diseño y la construcción de tuberías a presión. La norma indica el diseño y las prácticas seguras.

Referencia: ASME B31.8-1999:

- FACTOR DE JUNTA LONGITUDINAL E: Se clasifica el tipo de soldadura que toma el valor E.
- FACTOR DE DISMINUCION DE TEMPERATURA T: Se selecciona el valor del factor de disminución de temperatura según el ambiente al cual está sometida la tubería a instalar. (Pezo, 2010)

## CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DEL TEMA

### 3.1. Condiciones iniciales

Se tiene como condicional inicial realizar el siguiente metrado de tubería.

Tabla 4. Descripción del proyecto.

ítem	Descripción	Desde	Hasta	Longitud (m)	Diámetro (Pulg)
1	Empalme en válvula existente	Ca. Monserrate	Av. Caminos del Inca	1	Ø 3"
2	construcción de la línea de Acero	El cruce de la ca. Monserrate con la av. Caminos del Inca	El cruce de la av. Benavides con la av. Caminos del Inca	311.97	Ø 3"
3	construcción de tubería de conexión	Cruce de la av. Benavides con av. Caminos del Inca		12.73	Ø 3"
4	instalación válvula con extensora	Cruce de la Av. Benavides con Av. Caminos del Inca	Limite predio del grifo PRIMAX MONTREAL	1	Ø 3"
5	cruce en condiciones especiales	Av. Caminos del Inca	El cruce de la av. Caminos del Inca	34.98	Ø 3"

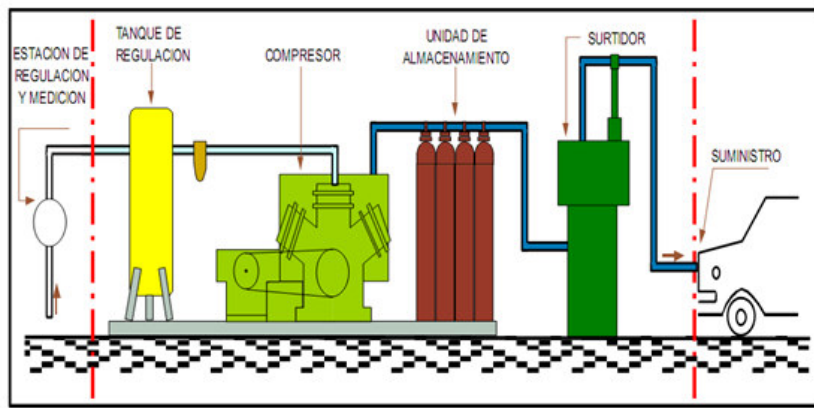
El establecimiento para el cual se desarrollara la extensión de red es conocida como carga rápida. En esta se desarrollara el llenado de cilindro de vehículos, requiere de un compresor que eleva la presión del gas natural y realiza la carga por medio de un dispensador. El gas natural a utilizar para el gas natural vehicular de las redes de distribución industrial.

El gas natural ingresa al establecimiento con una presión que varía entre 5 a 10 bar, es comprimido a 250 bar y almacenado en una batería de cilindros de almacenamiento de 1250 litros, y desde allí a través de dispensadores se llena el cilindro de los vehículos con una presión de hasta 200 bar.

El gas natural será captado desde el cruce de la Calle Monserrate en la válvula extensora el cual será construido con tubería de acero al carbono Sch-40 D.N. 3” con accesorios para soldadura a tope.

### 3.2. Componentes del sistema de gas natural vehicular

Las estaciones para los cuales se desarrolla este estudio son conocidos como de carga rápida, lenta y combinada. En estas el llenado del cilindro de los vehículos se hace por medios de un dispensador, conectado a un almacenamiento de alta presión, alimentando generalmente por un compresor. Las redes de gas se conducen hasta las estaciones de carga donde se comprimirá hasta 250 bar y de allí hasta los cilindros de los vehículos con una presión de hasta 200 bar asimismo las presiones de operación son las estipuladas en el Reglamento del Ministerio de Energía y Minas y en las Normas Técnicas Peruanas que la sustituyen, deroguen o modifiquen.



*Figura 2.* Componentes del sistema de gas natural vehicular.

Fuente: Primax

3.3. Plano de la extensión de red a ejecutar

La línea verde es la extensión que se realizara de la válvula con extensora en la Calle Monserrate hasta la estación de grifo PRIMAX MONTREAL



Figura 3. Plano del Proyecto MONTREAL

Fuente: CALIDDA



### 3.4. Cálculo del diseño para el tendido de la tubería

Para poder realizar el diseño para el desfile de la tubería se utilizó la Norma Internacional ASME B 31.8 – 1999.

### 3.5. Dimensionamiento de la tubería.

El encargado de tomar el gas y someterlo al proceso de compresión, elevando la presión a 250 bar, para posteriormente almacenarlo y proporcionar un llenado para los tanques de los vehículos, logrando aumentar la autonomía de los mismos.

El compresor está compuesto por un motor que es el que genera el movimiento, una carcasa en el cual está montando el conjunto móvil de la compresión, (pistones, bielas y cigüeñal); y además los equipos auxiliares (intercambiador de calor, tubería de interconexión del gas, válvulas de seguridad, etc.).

El compresor eleva la presión utilizando cuatro etapas, a la salida de cada etapa de compresión el gas pasa a través de un intercambiador de calor para su enfriamiento.

El gas retornara enfriando a la siguiente etapa de compresión hasta completar el ciclo. El compresor esta comandado por un tablero de control, diseñado najo un esquema eléctrico y de control automático, de tal manera que los interruptores de arranque y parada envían la señal para iniciar o terminar los ciclos. Adicionalmente, están conectados al sistema de seguridad para paradas de emergencia.

Agua abajo del compresor se instalara una válvula esférica roscada de accionamiento manual y válvula check roscada -6000 D.N. 1". (GCN INGENIEROS, 2012)

#### Características:

- Compresor.
  - Modelo : IMW50-5125DA-200-3625-4AC
  - Numero de etapas : 4
  - Presión mínima de Aspiración : 5 kg/cm<sup>2</sup>
  - Presión máxima de aspiración : 8.7 kg/cm<sup>2</sup>
  - Presión de descarga máxima : 250 kg/cm<sup>2</sup>
  - Flujo Mínimo (5barg) : 600 m<sup>3</sup>/h

- Flujo Máximo (8.7 bar) : 1003 m<sup>3</sup>/h
  - Velocidad : 710 RPM
  - Potencia del motor principal : 200HP / 440 V / 60 Hz
- Extensión de Red
    - Presión máxima de operación (MOP) : 10 kg/cm<sup>2</sup>
    - Presión Mínima de red : 9 kg/cm<sup>2</sup>
    - Longitud del tramo : 311.97 m

### 3.5.1. Formulas a usar

- **Fórmula para el cálculo del número de Reynolds:** Es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del ducto por el que fluye está dado por:

$$Re = \frac{\rho DV}{\mu} \quad \dots \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

Re = Numero de Reynolds.

D = Diámetro (m)

V = Velocidad promedio del líquido (m/s)

$\rho$  = Densidad del líquido (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viscosidad del líquido (kg/m.s)

- **Formula de Weymouth para alta presión:** Si el caudal por día es inferior a 500000 m<sup>3</sup>/día y la presión se encuentra comprendida entre 5 bar y 25 bar y un diámetro no mayor de 12 pulgadas, se empleara la fórmula de Weymouth:

$$Q = WZE \sqrt{\frac{P_i^2 - P_f^2}{L_E}} \quad \dots \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Q: Caudal de gas m<sup>3</sup>/día.

W: Constante de Weymouth.

Z: Factor de compresibilidad del gas.

E: Coeficiente de eficiencia.

P<sub>i</sub>: Presión absoluta al inicio del tramo en kg/cm<sup>2</sup>.

P<sub>f</sub>: Presión absoluta al final del tramo kg/cm<sup>2</sup>.

L<sub>E</sub>: Longitud de cálculo del tramo de tubería en km.

L<sub>E</sub> = L<sub>FISICA</sub> + L<sub>ACCESORIOS</sub> + L<sub>ALTITUD</sub>

- **Fórmula para la velocidad del gas en m/s se calcula mediante:**

$$v = 365.3 \frac{Q}{D^2 P_m} \dots \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

v = Velocidad del gas, (m/s)

Q = Caudal en condiciones estándar, (sm<sup>3</sup>/h)

P<sub>m</sub> = Presión promedio absoluta (presión relativa o manométrica más presión atmosférica del lugar de la instalación) al inicio y al final de un tramo de instalación, (bar)

D = Diámetro interno de a tubería, (mm)

- **Formula, la presión Promedio P<sub>m</sub> en el tramo se calcula mediante:**

$$P_m = \frac{2P_1^3 - P_2^3}{3P_1^2 - P_2^2} \dots \text{Ecuación (4)}$$

Siendo: P<sub>1</sub> = Presión Inicial manométrica y P<sub>2</sub> = Presión final manométrica

Fuente: GASWorks, Pipe Flow Equations

- **Fórmula para la presión de diseño (hallaremos el espesor):** La presión de diseño para tubos de acero se determina de acuerdo con la siguiente formula:

$$P = \frac{2 S t}{D} FET \dots \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

P - Presión de diseño

S - Tensión de fluencia (MPa)

D - Diámetro nominal exterior de la tubería (mm)

T - Espesor nominal de pared de la tubería en (mm)

F - Factor de diseño (adimensional)

E - Factor de la junta longitudinal (adimensional)

T - Factor de temperatura (adimensional)

Fuente: ASME B 31.8, Sistema de Tuberías para Transporte y Distribución de Gas

- **Peso Molecular:** Cuando se trata de mezclas no se habla de peso molecular sino de peso molecular aparente y se calcula de acuerdo con la composición aplicando la siguiente ecuación:

$$M_a = \sum x_i M_i \quad \dots \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

$X_i$ : Fracción molar del componente i respectivamente.

$M_i$  : Peso molecular del componente i respectivamente.

$M_a$ : Peso molecular aparente.

De igual manera si se requiere expresar la composición en porcentaje por peso aplica la ecuación:

$$\%mi = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i} 100 \quad \dots \text{Ecuación (7)}$$

Cuando se trata de mezclas la obtención de Z no puede realizarse por medio de tablas ya que las mezclas no son compuestos puros y las condiciones no son críticas o reducidas, se hablas de condiciones pseudocríticas y pseudoreducidas.

Para obtener las condiciones pseudocríticas se debe conocer la composición de la mezcla o la gravedad específica. Posteriormente se puede aplicar la correlación de standing y Katz:

$$sP_c = \sum x_i P_{ci} \quad \dots \text{Ecuación (8)}$$

$$sT_c = \sum x_i T_{ci} \quad \dots \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

$sP_c$  : Presión pseudocríticas de la mezcla.

$sT_c$  : Temperatura pseudocríticas de la mezcla.

$x_i$  : Fracción mola de cada componente en la mezcla.

$P_{ci}$  : Presión crítica de cada componente en la mezcla.

$T_{ci}$  : Temperatura crítica de cada componente en la mezcla.

Una vez calculados los valores de  $sT_c$  y  $sP_c$ , se calculan La condiciones pseudoreducidas:

$$sP_r = \frac{P}{sP_c} \quad \dots \text{Ecuación (10)}$$

$$sT_r = \frac{T}{sT_c} \quad \dots \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

$sP_r$  : Presión pseudocrítica de la mezcla.

$sT_r$  : Temperatura pseudoreducida de la mezcla.

### 3.5.2. Tablas a usar para los cálculos del dimensionamiento de la tubería

- **Constante de Weymouth:** La constante de Weymouth, depende del diámetro como se indica en el siguiente cuadro.
- 

Tabla 5. Constante de Weymouth

DIÁMETRO (mm)	DIÁMETRO (pulgadas)	W
13	1/2	123
19	3/4	260,1

25	1	496,8
38	1 1/2	1552,3
51	2	3022,4
75	3	9085,5
100	4	19054,6
125	5	58526,4
200	8	118662,2
250	10	216032,9
300	12	342813,8

Fuente: (Pezo, 2010)

- **Factor Z según presión inicial:** El factor de compresibilidad Z, depende de la presión absoluta inicial  $P_i$ , indicándose los valores en el siguiente cuadro.

Tabla 6. Factor de compresibilidad

<b>Presión inicial. <math>P_i</math></b>	
<b>Kg/cm<sup>2</sup> abs.</b>	<b>Factor Z</b>
5 a 10	1,01
10 a 20	1,02
20 a 25	1,03

Fuente: (Pezo, 2010)

- **Coefficiente de eficiencia E.**

El coeficiente de eficiencia E se establece en función del diámetro de la tubería y el caudal diario del gas circulante, Se usa los siguientes valores.

Tabla 7. Coeficiente de eficiencia

Diámetro		Caudal en m³/día													
Mm	pulgadas	500 000	300 000	200 000	120 000	80 000	50 000	30 000	20 000	12 000	8 000	5 000	3 000	2 000	1200
19	3/4										1,18	1,1	1,06	1,02	0,95
25	1									1,15	1,1	1,05	1,03	0,99	0,92
38	1 1/2					1,22	1,19	1,15	1,11	1,06	1,01	0,96	0,9		
51	2			1,22	1,2	1,17	1,13	1,06	1,03	1,01	0,96	0,9			
75	3		1,17	1,16	1,14	1,09	1,02	0,97	0,95	0,9	0,85	0,8			
100	4	1,13	1,11	1,1	1,05	1,01	0,96	0,92	0,9	0,82					
130	6	1,06	1,02	0,98	0,94	0,88	0,86	0,84	0,78						
200	8	1,01	0,96	0,92	0,86	0,84	0,82	0,7	0,72						
250	10	0,94	0,93	0,87	0,84	0,81	0,79	0,72							
300	12	0,9	0,87	0,81	0,8	0,76	0,73								

Fuente: (Pezo, 2010)

- **Factor de diseño (F) para la ecuación N°5:** Factor básico de diseño, F según clase de localidad

Tabla 8. Clase de localidad.

Tipo de vía de comunicación	Clase de trazado 1	Clase de trazado 2	Clase de trazado 3	Clase de trazado 4
Caminos privados	0,72	0,6	0,5	0,4
Caminos público no mejorado	0,72	0,6	0,5	0,4
Camino de superficie dura, autopistas o caminos públicos y ferrocarriles	0,6	0,6	0,5	0,4

Fuente: (Pezo, 2010)

- **Factor básico de diseño:** Dado por la Tabla siguiente:

Tabla 9. Factor básico de diseño.

Clase de Localidad	Factor de Diseño, F
Localidad Clase 1, División 1	0,80
Localidad Clase 1, División 2	0,72
Localidad Clase 2	0,60
Localidad Clase 3	0,50
Localidad Clase 4	0,40

Fuente: (Pezo, 2010)

- Clase de Trazado: Área Unitaria clasificada de acuerdo a la densidad de población para el diseño y la presión de prueba de las tuberías localizadas en esa área.

La Clase de Trazado (Área Unitaria), queda determinada por la cantidad de edificios dentro de la unidad de clase de trazado. Para los propósitos de esta Sección, cada unidad habitacional en un edificio de múltiples viviendas deberá ser contada como edificio separado destinado a ocupación humana

- i. Clase 1, corresponde a la unidad de clase de localización que contiene 10 o menos unidades de vivienda destinadas a ocupación humana.



- ii. Clase 2, corresponde a la unidad de clase de localización que tiene más de 10, pero menos de 46 unidades de vivienda destinadas a ocupación humana.
  - iii. Clase 3, corresponde a:
    - a. Cualquier unidad de clase de trazado que contiene 46 o más unidades de vivienda destinadas a ocupación humana, o
    - b. Una zona donde la tubería está colocada dentro de los 100 metros de cualquiera de los siguientes casos:
      - i. Un edificio que es ocupado por 20 o más personas durante el uso normal;
      - ii. Una pequeña área abierta, bien definida, que es ocupada por 20 o más personas durante el uso normal, tales como un campo de deportes o juegos, zona de recreación, teatros al aire libre u otro lugar de reunión pública.
  - iv. Clase 4, corresponde a la unidad de clase de trazado donde predominen edificios con cuatro o más pisos sobre el nivel de terreno.
    - a. Una Clase 4 finaliza a 200 m del edificio más próximo de cuatro o más pisos sobre el nivel del terreno;
    - b. Cuando un grupo de edificios destinados a ocupación humana requiere una Clase 3, ésta finalizará a 200 metros de los edificios más próximos del grupo;
    - c. Cuando un grupo de edificios destinados a ocupación humana requiere una Clase 2, ésta finalizará a 200 metros de los edificios más próximos del grupo.
- **Factor de junta longitudinal (E) para la ecuación N°5.:** dado en la tabla:

Tabla 10. Factor junta longitudinal

Especif. N°	Clase de Tubería	Factor E
ASTM A 53	Sin costura	1
	Soldado por Resistencia Eléctrica	1
	Soldada a Tope en Horno: Soldadura	
	continua	0,6
ASTM A 106	Sin costura	1
ASTM A 134	Soldadura por Electro Fusión con Arco	0,8

ASTM A 135	Soldado por Resistencia Eléctrica	1
ASTM A 139	Soldado por Electro Fusión	0,8
ASTM A 211	Tubería de Acero Soldad en Espiral	0,8
ASTM A 333	Sin costura	1
	Soldada por Resistencia Eléctrica	1
ASTM A 381	Soldadura por Arco Doble Sumergido	1
ASTM A 671	Soldado por Electro Fusión	
	Clases 13,23,33,43,53	0,8
	Clases 12,22,32,42,52	1
ASTM A 672	Soldado por Electro Fusión	
	Clases 13,23,33,43,53	0,8
	Clases 12,22,32,42,52	1
API 5L	Sin costura	1
	Soldado por Resistencia Eléctrica	1
	Soldado por Electro Fulguración	1
	Soldado por Arco Sumergido	1
	Soldado a Tope en Horno	0,6

Fuente: (Pezo, 2010)

- **Factor de variación por temperatura (T) para tubos de acero para la ecuación N°5.** Dado en la tabla siguiente:

Tabla 11. Factor de variación por temperatura.

Factor de Disminución de	
Temperatura, °F	Temperatura, T
250 o menos	1
300	0,967
350	0,933
400	0,9
450	0,867

Fuente: (Pezo, 2010)

- **Tensión mínima de fluencia:** Sus valores comunes se da en la tabla siguiente:

Tabla 12. Tensión mínima de fluencia

REQUERIMIENTOS		A 25	A	B	X-42	X-46	X-52	X-56
Resistencia mín. a la tensión kg./cm. <sup>2</sup> (lb./pulg. <sup>2</sup> ) / (PSI)		1,758 (25,000)	2,109 (30,000)	2,461 (35,000)	2,953 (42,000)	3,234 (46,000)	3,656 (52,000)	3,937 (56,000)
Límite de fluencia kg./cm. <sup>2</sup> (lb./pulg. <sup>2</sup> ) / (PSI)		3,164 (45,000)	3,375 (48,000)	4,218 (60,000)	4,218 (60,000)	4,430 (63,000)	4,640 (66,000)	4,992 (71,000)
Max.	% C X 100	21	21	26	28	30	30	26
	% Mn X 100	60	90	115	125	135	135	135
	% P X 1000	3	3	3	3	3	3	3
	% S X 1000	3	3	3	3	3	3	3

Fuente: (Pezo, 2010)

- **Especificación técnica de la tubería de acero al carbono API 5L / ASTM A53 / A106:** Los valores se da en tablas especializadas, que son comunes de encontrar en catálogos de proveedores.
- **Longitud equivalente representativa en diversos diámetros de tubería.**

Tabla 13. Longitud equivalente representativa

Equivalent an Length in Pipe Diameters (L/D) of Various Valves and Fittings	
Globe valves, fully open	450
Angle Valves, fully open	200
Gate valves, fully open	13
3/4 open	35
1/2 open	160

1/4 open	900
Swing check valves, fully open	135
In line, ball check valves, fully open	150
Butterfly valves, 6 in and larger, fully open	20
90° standard elbow	30
45° estándar elbow	16
90° long-radius elbow	20
90° street elbow	50
45° street elbow	26
Standart tee:	
Flow through run	20
Flow through branch	60
Fuente: Piping systems	

### 3.6. Datos iniciales

Se tiene como parte inicial

- $P_1 = 10 \text{ bar}$
- $Q_i = 1003 \text{ m}^3/\text{h}$

### 3.7. Calculo de la velocidad

**Diseño de redes Gas Natural:** Dicha ecuación podrá ser empleada con un método de iteración numérica a través de un software especializado. También se pueden usar otras ecuaciones tal como la ecuación de Weymouth aplicada al método de Hardy Cross de aproximaciones sucesivas o similares.

La velocidad  $v$  del gas en m/s, se calcula mediante la fórmula:

$$v = 365.3 \frac{Q}{D^2 P_m} \quad \dots \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

$v$  = Velocidad del gas, (m/s)

$Q$  = Caudal en condiciones estándar, ( $m^3_s/h$ )

$P_m$  = Presión promedio absoluta (presión relativa o manométrica más presión atmosférica del lugar de la instalación) al inicio y al final de un tramo de instalación, (bar)

$D$  = Diámetro interno de la tubería, (mm)

La presión Promedio  $P_m$  en el tramo puede calcular por la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{2P_1^3 - P_2^3}{3P_1^2 - P_2^2} \dots \text{Ecuación (13)}$$

La presión Inicial absoluta es

$P_1 = 10 \text{ kg/cm}^2$  Según estimación de diseño se llega a tener un 40 % de caída de presión inicial máxima.

$$\Delta p_{\max} = 0.4 \times 10 = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_2 = 10 - 4 = 6 \text{ kg/cm}^2$$

Reemplazando en la Ecuación (13).

$$P_m = \frac{2 \times 10^3 - 6^3}{3 \times 10^2 - 6^2}$$

$$P_m = 7.4557 \text{ kg/cm}^2$$

La presión media Absoluta es:

$$P_m = 7.4557 \text{ kg/cm}^2 + 1.033 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_m = 8.4887 \text{ kg/cm}^2$$

**Velocidad del gas:** Para evitar la alta velocidad del gas en las tuberías, lo que traería aparejado un importante desgaste, pérdida de carga, ruido y movimiento del polvo contenido en el gas, se limitaran a los siguientes valores, según su presión y zona de red:

1. En tramos de red nueva: 20 m/s
2. En tramos de equipos de medición: 15 m/s

3. En tramos extremos de la red sin posibilidad de expansiones: 40 m/s

La velocidad en la red en ningún caso deberá superar la velocidad erosional.

- Consideraremos una velocidad 40 m/s

Reemplazando en la Ecuación (12).

$$40 = 365.3 \times \frac{1003}{D^2 \times 8.4887}$$

$$D = 32.8mm$$

$$D = 1.29"$$

- Consideramos una velocidad 20 m/s: Reemplazando en la Ecuación (6).

$$20 = 365.3 \times \frac{1003}{D^2 \times 8.4887}$$

$$D = 46.45mm$$

$$D = 1.82"$$

**A una velocidad de 20 m/s se puede considerar un diámetro mayor de 2", según la Concesionaria el diámetro mínimo para poder transportar el gas natural a una presión de 10 BAR es un diámetro de 3".**

**Por lo tanto el Diámetro a Considerar es de 3"**

$$D = 3"$$

### 3.8. Cálculo del espesor de la tubería.

El tubo debe ser diseñado con suficiente espesor de pared, o debe ser instalado como protección adecuada, para soportar previsibles cargas y previsiones externas que puedan serle impuestas después de instalado.

La presión de diseño para tubos de acero se determina de acuerdo con la siguiente formula:

De la ecuación N°5 se sabe

$$P = \frac{2st}{D} FET$$

Donde:

P: Presión de diseño (PSI).

S: Tensión de fluencia (PSI)

D: Diámetro nominal exterior de la tubería (mm)

t: Espesor nominal de pared de la tubería en (mm)

F: Factor de diseño (adimensional)

E: Factor de la junta (adimensional)

T: Factor de temperatura (adimensional)

- **Presión de diseño PSI.**

La presión inicial es:

$$P_1 = 10 \text{ bar}$$

La presión de diseño es el 1.5  $P_1$ . Como fuente OSINERGMIN. Reglamento de distribución de gas natural por red de ductos: decreto supremo N° 042-99 EM 2008.

$$P_{\text{DISEÑO}} = 10 \times 1.5 = 15 \text{ bar}$$

$$P_{\text{DISEÑO}} = 217.56 \text{ PSI}$$

- **Factor de diseño:** Dado que nuestro terreno es superficie dura y clase de trazado 4 el Factor de diseño es de 0.4 según la tabla N°8 y N°9, corresponde a la unidad de clase de trazado donde predominen edificios con cuatro o más pisos sobre el nivel de terreno.

$$F = 0.40$$

- **Factor de junta longitudinal (E):** La tubería seleccionada para la extensión de red es de especificación API 5L, Grado X42. Contará con costura longitudinal de fabricación ERW (Electric Resistance Welded) – Soldada por Resistencia Eléctrica.

Para esta explicación de tubería y el tipo de soldadura longitudinal, el ANSI B318, establece un Factor de Junta Longitudinal según la tabla N°10.

$$E = 1.0$$

- **Factor de temperatura:** La temperatura para el tubo de acero es menor a 250 °F y según la tabla N°11.

El Factor de variación de resistencia por la Temperatura, T para la extensión de red.

$$T = 1.0$$

- **Diámetro Nominal:** El diámetro nominal es de 3".

$$D = 3"$$

- **Tensión de fluencia:** La tensión mínima de fluencia especificada en PSI, como primer cálculo considero una tubería ASTM A53/API 5L GRADO B estipulada en la especificación bajo la cual se compra la tubería del fabricante según la tabla N°11.

$$S = 35000 \text{ PSI}$$

Reemplazando los valores en la Ecuación (8)

$$217.56 = \frac{2 \times 3500 \times t}{3} \times 0.4 \times 1 \times 1$$

$$t = 0.02331"$$

$$t = 0.59 \text{ mm}$$

**Se agrega el factor de corrosión permisible de 0.118 pulg o 2.997 mm**

**Se valida según el Anexo A3: Tubería de Acero al Carbono que el Diámetro a usar es de 3" y para el espesor más cercano a nuestro valor obtenido se elige que nuestra tubería será estándar de cedula 40.**

### 3.9. Calculo de la longitud equivalente

La longitud equivalente es la suma de la longitud física más la longitud de accesorios más la longitud de altitud que viene dada por la siguiente formula.

$$L_{EQUIVALENTE} = L_{FISICA} + L_{ACCESORIOS} + L_{ALTITUD} \dots \text{Ecuación N° (14).}$$

- **Longitud física:** La longitud en física de la extensión es:



$$L_{FISICO} = 311.97 \text{ metros}$$

- **Longitud por altitud:** La diferencia de altitud del punto inicial al punto final es:

$$L_{ALTITUD} = 1 \text{ metro}$$

- **Longitud por accesorios:** La longitud por accesorios es identificando los accesorios que se usaron y calcular las respectivas longitud según la Tabla N°13.

Para el proyecto de extensión de red se usó:

- 2 Codos de 45°
- 1 Codo de 90°
- 1 Válvula Bola.

$$L_{ACCESORIOS} = 2CODOS45^{\circ} + CODO90^{\circ} + VALVULA \dots \text{Ecuación N}^{\circ} (15)$$

Se obtiene de la tabla 13

$$\text{Codo } 45^{\circ} \quad L/D = 16$$

$$\text{Codo } 90^{\circ} \quad L/D = 50$$

$$\text{Válvula Bola} \quad L/D = 150$$

Para el diámetro  $D = 3''$

Reemplazando en la Ecuación N° (15) se obtiene:

$$L_{ACCESORIOS} = 2 \times 16 \times 3'' + 50 \times 3'' + 150 \times 3''$$

$$L_{ACCESORIOS} = 696''$$

$$L_{ACCESORIOS} = 17.68 \text{ metros}$$

Resultados obtenidos todos los datos reemplazar en la Ecuación N° (14)

$$L_{EQUIVALENTE} = 330.65 \text{ metros}$$

$$L_{EQUIVALENTE} = 0.33065 \text{ Km}$$

**3.10. Constante de Weymouth:** La constante de Weymouth, depende del diámetro, como se indica en la TABLA N°5,

$$Q = WZE \sqrt{\frac{P_i^2 - P_f^2}{L_E}} \quad \dots \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

Q: Caudal de gas m<sup>3</sup>/día.

W: Constante de Weymouth.

Z: Factor de compresibilidad del gas.

E: Coeficiente de eficiencia.

P<sub>i</sub>: Presión absoluta al inicio del tramo en kg/cm<sup>2</sup>.

P<sub>f</sub>: Presión absoluta al final del tramo kg/cm<sup>2</sup>.

L<sub>E</sub>: Longitud de cálculo del tramo de tubería en km.

$$L_E = L_{\text{FISICA}} + L_{\text{ACCESORIOS}} + L_{\text{ALTITUD}}$$

- **Caudal de gas m<sup>3</sup>/día:** Según la información recopilada de la estación del Grifo PRIMAX esta funciona 24 horas al día, pero funcionamiento de las maquinas es aproximadamente de 8 horas de uso diaria.

$$Q_i = 1003 \times 24 = 24072 \text{ m}^3/\text{día}$$

- **Factor de compresibilidad del gas:** El factor de compresibilidad Z depende de la presión inicial para nuestra extensión de red nuestra presión es de 10 bar según TABLA N°6.

P<sub>INICIAL</sub> = 10 Kg/cm<sup>2</sup> El valor Z obtenido de la tabla es:

$$Z = 1.01$$

- **Coeficiente de eficiencia:** l coeficiente de eficiencia E se establece en función del diámetro de la tubería y el caudal diario del gas circulante.

Para un Caudal de 24000 m<sup>3</sup>/día y un diámetro de 3" según la TABLA N°7.

$$E = 0.97$$

- **Presión inicial absoluta:** se calcula como:

$$P_1 = 10 \text{ kg/cm}^2 + 1.033 \text{ kg/cm}^2 = 11.033 \text{ kg/cm}^2 = 11.033 \text{ bar}$$

- **Presión final absoluta.**

$$P_1 = 11.033 \text{ kg/cm}^2 = 11.033 \text{ bar}$$

Se considera por diseño el 40 % de caída de presión inicial. La presión final es:

$$\Delta P_{\max} = 0.4 \times 10 = 4 \text{ kg/cm}^2 = 4 \text{ bar}$$

$$P_2 = (11.033 - 4) = 7.033 \text{ kg/cm}^2 = 7.033 \text{ bar}$$

- **Longitud equivalente**

$$L_{\text{EQUIVALENTE}} = 330.65 \text{ metros}$$

$$L_{\text{EQUIVALENTE}} = 0.33065 \text{ Km}$$

Reemplazando en la Ecuación N° (16)

$$24072 = W \times 1.01 \times 0.97 \times \sqrt{\frac{11.033^2 - 7.033^2}{0.33065}}$$

$$W = 1662.04$$

Validando información en la TABLA N°5

El diámetro a elegir es 2". El cumple nuestro diseño para una tubería de diámetro de 3".

- **Validando información para la presión final.**

Para un diámetro de 3" según la TABLA N°5 la constante de Weymouth.

$$W = 9085.5$$

Reemplazando en la Ecuación N° (11) para validar la presión final.

$$24072 = 9085.5 \times 1.01 \times 0.97 \times \sqrt{\frac{11.033^2 - P_2^2}{0.33065}}$$

$$P_2 = 10.923 \text{ kg/cm}^2 = 10.923 \text{ bar}$$

La presión absoluta  $P_2 = 10.923 \text{ bar}$ .

La presión Manométrica

$$P_2 = 9.89 \text{ kg/cm}^2 = 9.89 \text{ bar}$$

El cual cumple nuestro diseño, diámetro y espesor seleccionado.

### 3.11. Numero de Reynolds

Peso molar de los componentes del Gas Natural de Camisea.

Tabla 14 Peso Molar

COMPONENTES	PESO MOLAR (gr/mol) $M_i$	FRACCION MOLAR ( $X_i$ )
Metano	16.043	0.88166
Etano	30.07	0.10284
Propano	44.097	0.00535
Iso butano	58.123	0.00025
Pentano	72.15	0.00003
Dióxido de carbono	44.01	0.00262
Nitrógeno	28.013	0.00725
Total		1.000000

Fuente: (De los ángeles, 2015)

Reemplazando en la ecuación (6) para calcular el peso aparente del gas natural:

$$M_a = \sum x_i M_i = 16.043 \times 0.88166 + 30.070 \times 0.10284 + \dots + 44.010 \times 0.00262 + 28.13 \times 0.01725$$

$$M_a = \sum x_i M_i = 17.808 \dots \text{ Ecuación N}^\circ (17)$$

A continuación el uso de la Ecuación N° (7) para calcular la composición por porcentajes en peso:

$$\text{Fracción en peso del Metano: } \frac{x_i M}{\sum x_i M_i} = \frac{16.043 \times 0.88166}{17.808} = 0.794$$

$$\text{Fracción en peso del Etano: } \frac{x_i M}{\sum x_i M_i} = \frac{30.7 \times 0.10284}{17.808} = 0.174$$

$$\text{Fracción en peso del Propano: } \frac{x_i M}{\sum x_i M_i} = \frac{44.097 \times 0.00535}{17.808} = 0.013$$

$$\text{Fracción en peso del Iso-Butano: } \frac{x_i M}{\sum x_i M_i} = \frac{58.123 \times 0.00025}{17.808} = 0.001$$

$$\text{Fracción en peso del Pentano: } \frac{x_i M}{\sum x_i M_i} = \frac{72.150 \times 0.00003}{17.808} = 0.00012$$

$$\text{Fracción en peso del Dióxido de carbono: } \frac{x_i M}{\sum x_i M_i} = \frac{44.010 \times 0.00262}{17.808} = 0.006$$

$$\text{Fracción en peso del Nitrógeno: } \frac{x_i M}{\sum x_i M_i} = \frac{28.013 \times 0.00725}{17.808} = 0.011$$

Todos los resultados están en la siguiente tabla

Tabla 15. Fracción en peso por cada componente.

COMPONENTES	PESO MOLAR (gr/mol) Mi	FRACCION MOLAR (Xi)	PESO MOLAR APARENTE SUMA (gr/mol) (Mi)(Xi)	FRACCION EN PESO
Metano	16.043	0.88166	14.144	0.794
Etano	30.07	0.10284	3.092	0.174
Propano	44.097	0.00535	0.236	0.013
Iso butano	58.123	0.00025	0.015	0.001
Pentano	72.15	0.00003	0.002	0.00012
Dióxido de carbono	44.01	0.00262	0.115	0.006
Nitrógeno	28.013	0.00725	0.203	0.11
Total		1.000000	17.808	1.000

Se obtiene como peso Molar aparente:

$$M_a = 17.808 \text{ gr} / \text{mol}$$

Tabla 16 Valores de Presiones y temperaturas pseudocríticas para cada componente.

COMPONENTE	PESO MOLAR (gr/mol) Mi	Presión Crítica (Pc)		Temperatura Crítica (Tc)		XiPci	xiTci
		psi	Bar	°F	°K	Bar	°k
Metano	16.043	667.000	45.988	-116.660	190.561	36.527	151.359
Etano	30.07	707.800	48.801	90.070	305.411	8.474	53.036
Propano	44.097	615.000	42.403	205.920	369.772	0.562	4.899
Iso butano	58.123	527.900	36.397	274.410	407.822	0.030	0.333
Pentano	72.15	488.100	33.653	385.700	469.650	0.004	0.057
Dióxido de carbono	44.01	1069.500	73.739	87.730	304.111	0.477	1.969
Nitrógeno	28.013	492.8000	33.977	-232.490	126.211	0.388	1.439
Total						46.462	213.092

Se usara la correlación de Standing Katz, aplicando las siguientes ecuaciones, se obtendrá la presión y temperatura pseudocríticas respectivamente.

Reemplazando en la Ecuación (8) y (9)

$$sP_C = \sum x_i P_{ci} = 36.527 + 8.474 + 0.562 + 0.030 + 0.004 + 0.3889 = 46.462 \text{ bar}$$

$$sT_C = 151.359 + 53.036 + 4.899 + 0.057 + 1.969 + 1.439 = 213.092^\circ K$$

Para poder obtener las presiones y temperatura se deben sumar las condiciones estándar de trabajo a los datos de las condiciones iniciales de diseño.

Presión estándar:

$$P_{\text{estandar}} = 1.033 \text{ bar}$$

$$P_{\text{operacion}} = 10 \text{ bar}$$

$$P = P_{estandar} + P_{operacion} = 10 + 1.033 = 11.033bar$$

$$P = P_{estandar} + P_{operacion} = (10 + 1.033)bar = 11.033bar$$

Temperatura estándar:

$$T_{estandar} = 15^{\circ}C = 288.15^{\circ}K$$

$$T_{operacion} = 20^{\circ}C = 293.15^{\circ}K$$

$$T = T_{estandar} + T_{operacion} = 308.15^{\circ}K$$

Reemplazando en la Ecuación (10) y (11) para obtener las presiones y temperaturas pseudocríticas respectivamente.

$$sP_r = \frac{P}{sP_c} = \frac{11.033bar}{46.462bar} = 0.237$$

$$sT_c = \frac{T}{sT_c} = \frac{308.15^{\circ}K}{213.092^{\circ}K} = 1.446$$

### 3.11.1. Calculo de la viscosidad del gas natural a presiones de 10 bar

Para poder determinar la viscosidad se necesita los siguientes valores:

$$M_a = 17.808gr / mol$$

$$P = 11.033bar$$

$$T = 20^{\circ}C = 68^{\circ}F$$

Los datos se consultan en la grafico A1, obteniendo como resultado la viscosidad no corregida ( $\mu_1$ ):

$$\mu_1 = 0.0106cp = 1.060 \times 10^{-2}cp$$

Para calcular la viscosidad a las condiciones de diseño en:

$$P = 11.013bar$$

$$T = 20^{\circ}C$$

$$sP_r = \frac{P}{sP_c} = \frac{11.033bar}{46.462bar} = 0.237$$

$$sTc = \frac{T}{sT_c} = \frac{308.15^\circ K}{213.092^\circ K} = 1.446$$

Se valida el Anexo A2, en el cual se cruza los valores de temperatura y presión pseudoreducida, obteniendo la viscosidad a las condiciones de diseño:

$$\frac{u}{u_1} = 1.010 \Rightarrow u = 1.050 \times 10^{-2} Cp 1.010 = 1.039 \times 10^{-5} Pas$$

### 3.11.2. Calculo de la densidad del gas natural

Teniendo en consideración la temperatura y presión de diseño:

$$\rho = \frac{\overline{M}P}{ZRT} \quad \dots \text{Ecuación N}^\circ (18)$$

Donde:

$\rho$  : Densidad de gas, Kg/m<sup>3</sup>

$$P = 10bar = 10 \times 10^5 Pa$$

$$\overline{M} = 17.808 gr / mol$$

$$Z = 0.97$$

$$R = 8.314 m^3 \cdot Pa / ^\circ K \cdot mol$$

$$T = 20^\circ C = 293.15^\circ K$$

$$\rho = \frac{(17.808 gr/mol)(10 \times 10^5 Pa)}{(0.97)(8314 m^3 \cdot Pa / ^\circ K \cdot mol)(293.15^\circ K)} = 7.533 kg / m^3$$

### 3.11.3. Calcular el número de Reynolds

Hallaremos el número de Reynolds para indicar que tipo de flujo tendrá el fluido.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad \dots \text{Ecuación (19)}$$

Por consideración de cálculo para el diámetro inicial se tomó una velocidad de:

$$V = 20 m/s$$

$$D = 3" = 0.0762 m$$

$$\mu = 1.039 \times 10^{-5} Pa.s$$



$$\rho = 7.533 \text{ kg/m}^3$$

Reemplazar los valores obtenidos en la Ecuación (19)

$$\text{Re} = \frac{7.533 \times 20 \times 0.0762}{1.081 \times 10^{-5}}$$

$$\text{Re} = 1.062 \times 10^6$$

Por lo tanto se deduce que el flujo se encuentra en turbulencia en el interior de la tubería.

## CONCLUSIONES

Entre las conclusiones más importantes se pueden citar:

1. Se realizó el dimensionamiento de la tubería para la extensión de red (cuanto) obteniéndose una tubería de acero de Ø3" Sch 40.
2. Los cálculos obtenidos satisfacen a la presión que se requiere funcionar el compresor para la estación de GRIFO PRIMAX MONTREAL, a la que llega a la válvula de servicio en 9.89 bar
3. Se realizó lo cálculo del espesor de tubería obteniéndose (cuál). De las tablas se selecciona el espesor comercial que corresponde a un acero Sch 40 de Ø 3" igual a 3.592 mm.
4. Se calculo el número de Reynolds, obteniéndose  $Re = 1.062 \times 10^6$  lo cual corresponde a un flujo turbulento.

## RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones de este trabajo se citan:

1. Se recomienda usar los diversos programas para simulación de flujo en tuberías, con la finalidad de obtener resultados más exactos y poder ver el comportamiento de flujo en tuberías.
2. Se recomienda verificar la pérdida en accesorios realizando mediciones experimentales en laboratorio.
3. Se recomienda validar la presión final a la que llega a la válvula de servicio de manera experimental para un correcto funcionamiento del compresor.

**Referencia bibliográfica.**

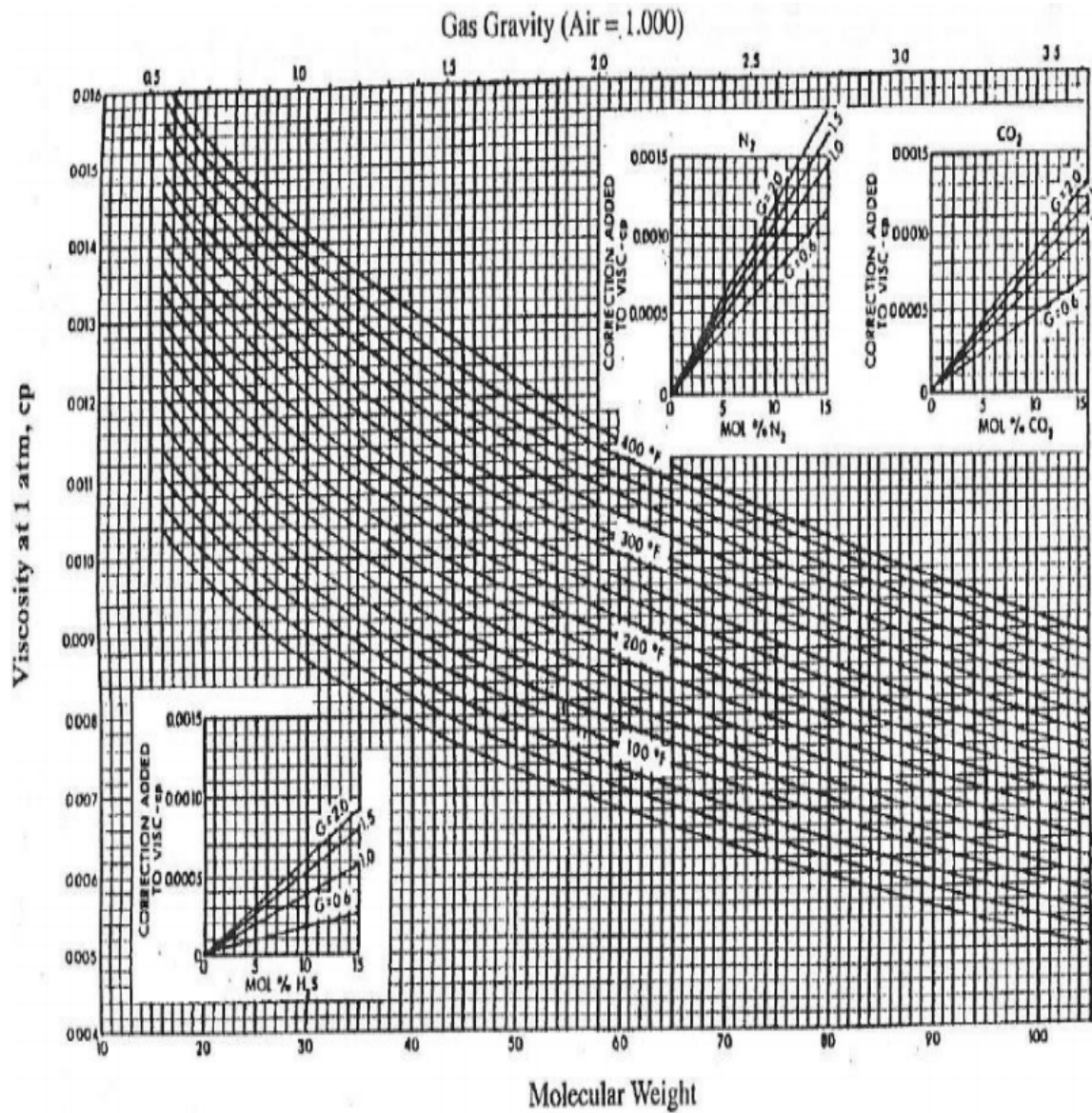
- [1] CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL (2015, P.43)
- [2] La Comunidad Petrolera (2008, P.2)
- [3] La Comunidad Petrolera (2008, P.2)
- [4] CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL (2015, P47)
- [5] CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL (2015, P38)
- [6] CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL (2015, P40)
- [7] CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL (2015, P40)
- [8] La comunidad Petrolera (2008, P4)

## BIBLIOGRAFIA.

- Cálidda. (2017). Beneficios del gas natural Industrial. Obtenido de [http://www.calidda.com.pe/industrial\\_beneficios.html](http://www.calidda.com.pe/industrial_beneficios.html)
- Coelho, P. M., & Pinho, C. (2007). Considerations About Equations for Steady State Flow in Natural Gas Pipelines. Portugal: University of Porto
- CONSTRUCERT S.A.C. (2011). Proyecto: P/11/063, extensión de red a EE.SS. PRIMAX MONTREAL.
- CNC INENIEROS S.A.C. (2012). Instalacion de sistema de gas natural vehicular. PRIMAX MONTREAL.
- Norma American Petroleum Institute (API) Standard 1104.1999.
- ASME B 31.8, Sistema de Tuberías para Transporte y Distribución de Gas.
- GASWorks, Pipe Flow Equations.
- OSINERGMIN. (2014). Distribución de Gas Natural. PERU: OSINERGMIN.
- OSINERGMIN. (2010). Principales noticias de hidrocarburos. PERU. OSINERGMIN.
- OSINERGMIN. Reglamento de distribución de gas natural por red de ductos: decreto supremo N° 042-99 EM 2008.
- QUADRI, Nestor. Instalaciones de gas. Buenos Aires Argentina. Librería y editorial Alsina, quinta edición. 2004.
- Universidad Nacional de Colombia. (2004). Transporte y distribución de gas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- UPME.(2017).*Cadena del gas licuado del petróleo*. Ministerio de Minas y Energía.
- De los Ángeles, M. (2015). *Conceptos fundamentales de la ingeniería de producción de gas natural*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Pezo, R. (2010). *Diseño del ramal de alimentación de 1460 sm<sup>3</sup>/h de gas natural para la compañía minera luren*. Universidad Nacional de Ingeniería, Peru..
- Carrillo, G. Guerrero, P. (2010). *Calculo de propiedades del gas natural*. Universidad Rafael Urdaneta. Venezuela.
- Becerra, M. (2011). *Cálculo de reservas en yacimiento de gas*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Alvarez, R. (2012). *Diseño de un sistema de recolección y transporte de gas natural*. Universidad Nacional de Ingeniería. Peru.
- <https://www.lacomunidadpetrolera.com/2008/11/propiedades-del-gas-natural.html>

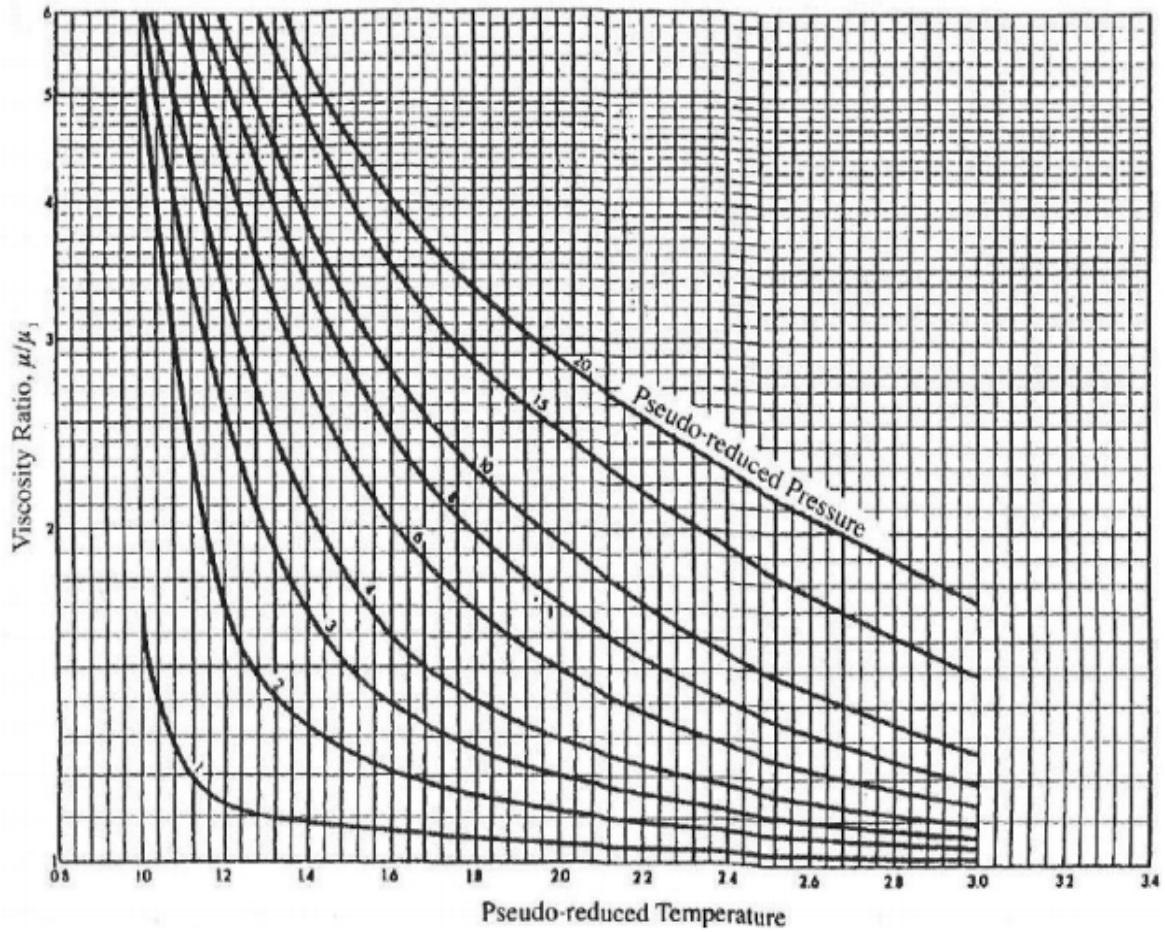
# ANEXOS

Grafico A1: Correlación de la viscosidad de gases de hidrocarburos a 1 atm.



(Carr, Kobayashi, & Burrows, 1954), Permission to publish from the Society of Petroleum Engineers of the AIME

**Grafico A2: Correlación de la relación de gases hidrocarburos en función de la temperatura y presión pseudoreducidas.**



(Carr, Kobayashi, & Burrows, 1954), Permission to publish from the Society of Petroleum Engineers of the AIME



**Grafico A3: Tubería de Acero al Carbono.**



**TUBERIA DE ACERO AL CARBONO**  
**API 5L / ASTM A53 / A106**

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/ft	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	700	49	700	49
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	850	60	850	60
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	700	49	700	49
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	850	60	850	60
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	700	49	700	49
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	850	60	850	60
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	2300	162	2500	176
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	2500	176	2500	176
2-1/2	65	2.875	73	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	2500	176	2500	176
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	2500	176	2500	176
				0.375	9.52	-	160	-	-	2500	176	2500	176
				0.552	14.02	XXS	-	-	-	2500	176	2500	176
3	80	3.500	88.9	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	1290	91	1500	105
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	1600	112	1870	131
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	1930	136	2260	159
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	2220	156	2500	176
				0.250	6.35	-	-	8.68	12.93	2500	176	2500	176
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.40	2500	176	2500	176
				0.300	7.62	XS	80	10.25	15.27	2500	176	2500	176
4	100	4.500	114.3	0.125	3.18	-	-	5.84	8.71	1000	70	1170	82
				0.156	3.96	-	-	7.24	10.78	1250	88	1460	103
				0.188	4.78	-	-	8.66	12.91	1500	105	1750	123
				0.219	5.56	-	-	10.01	14.91	1750	123	2040	143
				0.237	6.02	STD	40	10.79	16.07	1900	134	2210	155
				0.250	6.35	-	-	11.35	16.90	2000	141	2330	164
				0.281	7.14	-	-	12.66	18.87	2250	158	2620	184
				0.312	7.92	-	-	13.98	20.78	2500	176	2800	197
				0.337	8.56	XS	80	14.98	22.32	2700	190	2800	197
				0.438	11.13	-	120	19.00	28.32	2800	197	2800	197
				0.531	13.49	-	160	22.51	33.54	2800	197	2800	197
				0.674	17.12	XXS	-	27.54	41.03	2800	197	2800	197
5	125	5.563	141.3	0.188	4.78	-	-	10.79	16.09	1220	86	1420	100
				0.219	5.56	-	-	12.50	18.61	1420	100	1650	116
				0.258	6.55	STD	40	14.62	21.77	1670	117	1950	137
				0.281	7.14	-	-	15.85	23.62	1820	128	2120	149
				0.312	7.92	-	-	17.50	26.05	2020	142	2360	166
				0.344	8.74	-	-	19.17	28.57	2230	157	2600	183
				0.375	9.52	XS	80	20.78	30.94	2430	171	2800	197
6	150	6.625	168.3	0.188	4.78	-	-	12.92	19.27	1020	72	1190	84
				0.219	5.56	-	-	14.98	22.31	1190	84	1390	98
				0.250	6.35	-	-	17.02	25.36	1360	96	1580	111
				0.280	7.11	STD	40	18.97	28.26	1520	107	1780	125
				0.312	7.92	-	-	21.04	31.32	1700	120	1980	139
				0.344	8.74	-	-	23.08	34.39	1870	131	2180	153
				0.375	9.52	-	-	25.02	37.28	2040	143	2380	167
				0.432	10.97	XS	80	28.57	42.56	2350	165	2740	193
				0.562	14.27	-	120	36.39	54.20	2800	197	2800	197
				0.719	18.26	-	160	45.35	67.56	2800	197	2800	197
				0.864	21.95	XXS	-	53.16	79.22	2800	197	2800	197



**TUBERIA DE ACERO AL CARBONO**  
API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 FRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
8	200	8.625	219.1	0.188	4.78	-	-	16.94	25.26	780	55	920	65
				0.203	5.16	-	-	18.26	27.22	850	60	1000	70
				0.219	5.56	-	-	19.66	29.28	910	64	1070	75
				0.250	6.35	-	20	22.36	33.31	1040	73	1220	86
				0.277	7.04	-	30	24.70	36.81	1160	82	1350	95
				0.312	7.92	-	-	27.70	41.24	1300	91	1520	107
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	1340	94	1570	110
				0.344	8.74	-	-	30.42	45.34	1440	101	1680	118
				0.375	9.52	-	-	33.04	49.20	1570	110	1830	129
				0.406	10.31	-	60	35.64	53.08	1700	120	2000	141
				0.438	11.13	-	-	38.30	57.08	1830	129	2130	150
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	2090	147	2430	171
				0.594	15.09	-	100	50.95	75.92	2500	176	2800	197
				0.719	18.26	-	120	60.71	90.44	2800	197	2800	197
				0.812	20.62	-	140	67.76	100.92	2800	197	2800	197
				0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88	2800	197	2800	197
				0.906	23.01	-	160	74.69	111.27	2800	197	2800	197
10	250	10.750	273.0	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	630	44	730	51
				0.203	5.16	-	-	22.87	34.08	680	48	800	56
				0.219	5.56	-	-	24.63	36.67	730	51	860	60
				0.250	6.35	-	20	28.04	41.75	840	59	980	69
				0.279	7.09	-	-	31.20	46.49	930	65	1090	77
				0.307	7.80	-	30	34.24	51.01	1030	72	1200	84
				0.344	8.74	-	-	38.23	56.96	1150	81	1340	94
				0.365	9.27	STD	40	40.48	60.29	1220	86	1430	101
				0.438	11.13	-	-	48.19	71.87	1470	103	1710	120
				0.500	12.70	XS	60	54.71	81.52	1670	117	1950	137
				0.594	15.09	-	80	64.43	95.97	1990	140	2320	163
				0.719	18.26	-	100	77.03	114.70	2410	169	2800	197
				0.844	21.44	-	120	89.29	133.00	2800	197	2800	197
				1.000	25.40	XXS	140	104.13	155.09	2800	197	2800	197
				1.125	28.57	-	160	115.65	172.21	2800	197	2800	197
12	300	12.750	323.8	0.203	5.16	-	-	27.20	40.55	570	40	670	47
				0.219	5.56	-	-	29.31	43.63	620	44	720	51
				0.250	6.35	-	20	33.38	49.71	710	50	820	58
				0.281	7.14	-	-	37.42	55.75	790	56	930	65
				0.312	7.92	-	-	41.45	61.69	880	62	1030	72
				0.330	8.38	-	30	43.77	65.18	930	65	1090	77
				0.344	8.74	-	-	45.58	67.90	970	68	1130	79
				0.375	9.52	STD	-	49.52	73.78	1060	75	1240	87
				0.406	10.31	-	40	53.52	79.70	1150	81	1340	94
				0.438	11.13	-	-	57.59	85.82	1240	87	1440	101
				0.500	12.70	XS	-	65.42	97.43	1410	99	1650	116
				0.562	14.27	-	60	73.15	108.92	1590	112	1850	130
				0.688	17.28	-	80	88.63	132.04	1940	136	2270	160
				0.844	21.44	-	100	107.32	159.86	2390	168	2780	195
				1.000	25.40	XXS	120	125.49	186.91	2800	197	2800	197
				1.125	28.57	-	140	139.68	208.00	2800	197	2800	197
				1.312	33.32	-	160	160.27	238.68	2800	197	2800	197





**TUBERIA DE ACERO AL CARBONO**  
API 5L / ASTM A53 / A106

[www.vemacero.com](http://www.vemacero.com)

Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real (in.) mm.		Espesor de Pared Pulgadas (in.) Milímetros (mm.)		Identificación Weight Class Schedule		Peso del Tubo lb/ft kg/m		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
										Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
14	350	14.000	355.6	0.250	6.35	-	10	36.71	54.69	640	45	750	53
				0.281	7.14	-	-	41.17	61.35	720	51	840	59
				0.312	7.92	-	20	45.61	67.90	800	56	940	66
				0.344	8.74	-	-	50.17	74.76	880	62	1030	72
				0.375	9.52	STD	30	54.57	81.25	960	67	1120	79
				0.438	11.13	-	40	63.44	94.55	1130	79	1310	92
				0.469	11.91	-	-	67.78	100.94	1210	85	1410	99
				0.500	12.70	XS	-	72.09	107.39	1290	91	1500	105
16	400	16.000	406.4	0.250	6.35	-	10	42.05	62.64	560	39	660	46
				0.281	7.14	-	-	47.17	70.30	630	44	740	52
				0.312	7.92	-	20	52.27	77.83	700	49	820	58
				0.344	8.74	-	-	57.52	85.71	770	54	900	63
				0.375	9.52	STD	30	62.58	93.17	840	59	980	69
				0.438	11.13	-	-	72.80	108.49	990	70	1150	81
				0.469	11.91	-	-	77.79	115.86	1060	75	1230	86
				0.500	12.70	XS	40	82.77	123.30	1120	79	1310	92
18	450	18.000	457.2	0.250	6.35	-	10	47.39	70.60	500	35	580	41
				0.281	7.14	-	-	53.18	79.24	560	39	660	46
				0.312	7.92	-	20	58.94	87.75	620	44	730	51
				0.344	8.74	-	-	64.87	96.66	690	49	800	56
				0.375	9.52	STD	-	70.59	105.10	750	53	880	62
				0.406	10.31	-	-	76.29	113.62	810	57	950	67
				0.438	11.13	-	30	82.15	122.43	880	62	1020	72
				0.469	11.91	-	-	87.81	130.78	940	66	1090	77
20	500	20.000	508.0	0.250	6.35	-	10	52.73	78.55	450	32	520	37
				0.281	7.14	-	-	59.18	88.19	510	36	590	41
				0.312	7.92	-	-	65.60	97.67	560	39	660	46
				0.344	8.74	-	-	72.21	107.60	620	44	720	51
				0.375	9.52	STD	20	78.60	117.02	680	48	790	56
				0.406	10.31	-	-	84.96	126.53	750	51	850	60
				0.438	11.13	-	-	91.51	136.37	790	56	920	65
				0.469	11.91	-	-	97.83	145.70	850	60	950	67
24	600	24.000	609.6	0.250	6.35	-	10	63.41	94.46	380	27	440	31
				0.281	7.14	-	-	71.18	106.08	420	30	490	34
				0.312	7.92	-	-	78.93	117.51	470	33	550	39
				0.344	8.74	-	-	86.91	129.50	520	37	600	42
				0.375	9.52	STD	20	94.62	140.88	560	39	660	46
				0.406	10.31	-	-	102.31	152.37	610	43	710	50
				0.438	11.13	-	-	110.22	164.26	660	46	770	54
				0.469	11.91	-	-	117.86	175.54	700	49	820	58
				0.500	12.70	XS	-	125.49	186.94	750	53	880	62
				0.562	14.27	-	30	140.68	209.30	840	59	980	69

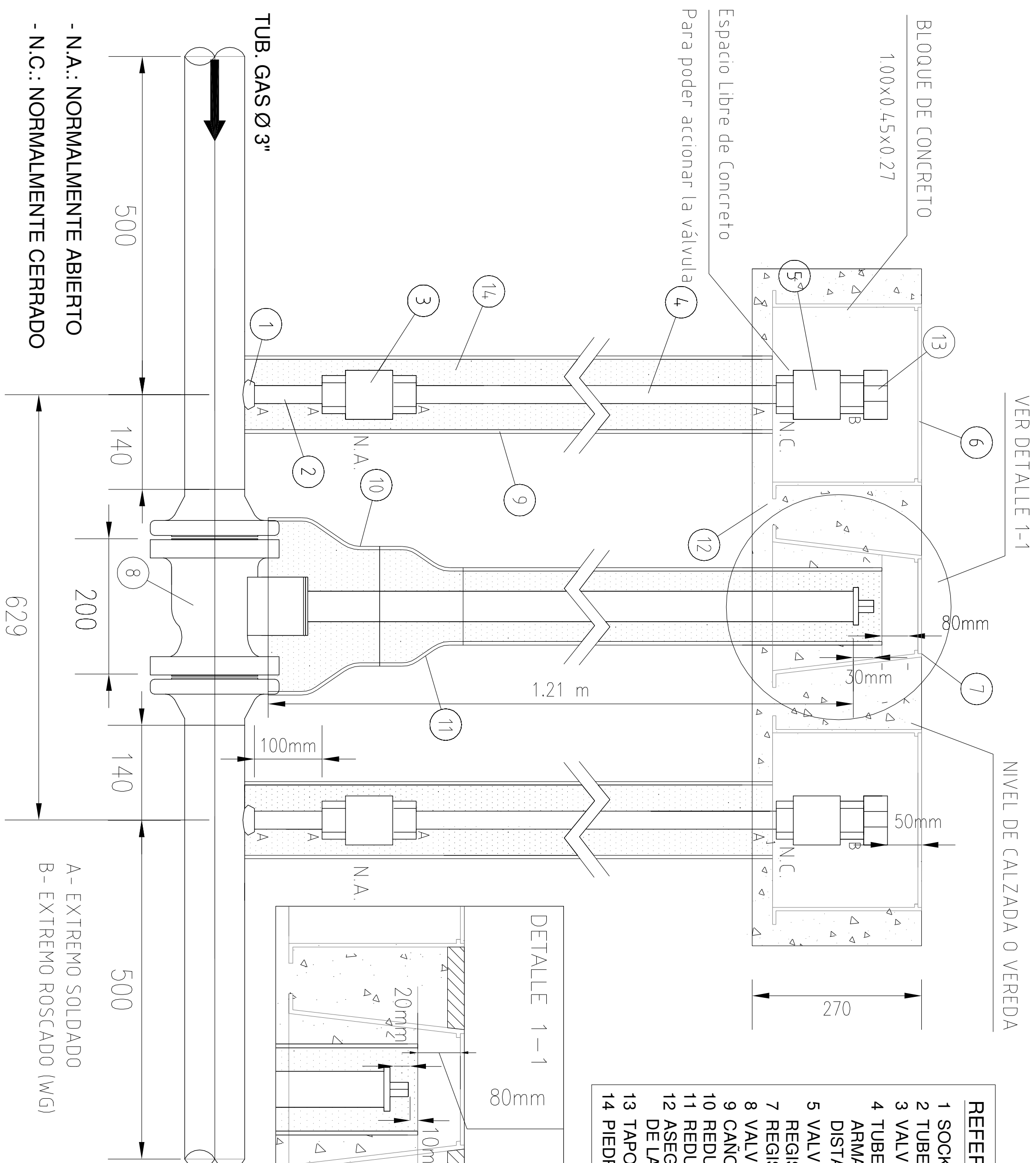
Tolerancias dimensionales:

Epesor:  $\pm 12.5\%$  de espesor nominal en cualquier punto del tubo.

Peso:  $\pm 10\%$  del paquete de tubos con diámetro menor o igual a 4" (114.3mm) o tubos individuales con diámetro nominal mayor a 4" (114.3mm).

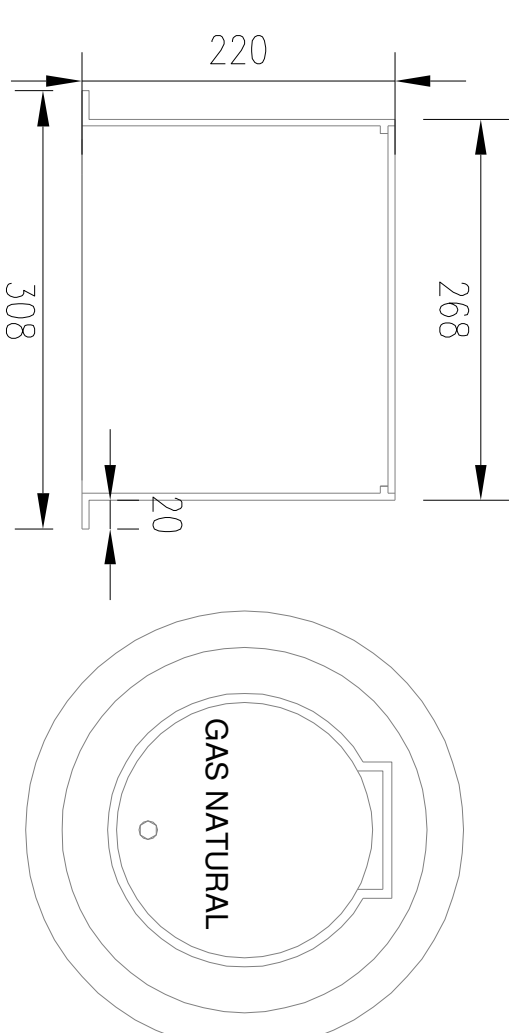
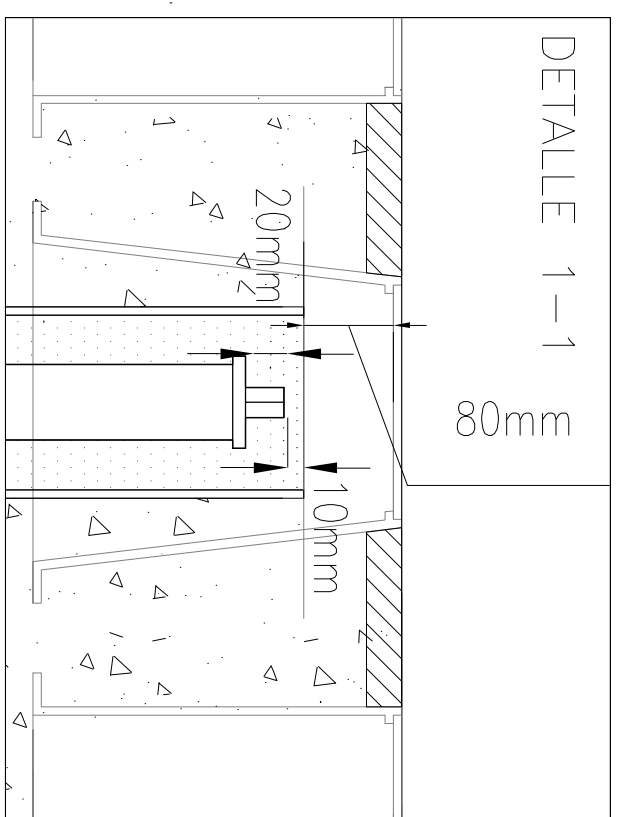
Diámetro externo: Para diámetro menores o iguales a 1-1/2" (48.3mm)  $\pm 0.016$  pulg ( $\pm 0.40$ mm).

Para diámetro mayores o iguales a 2" (60.3mm):  $\pm 1\%$

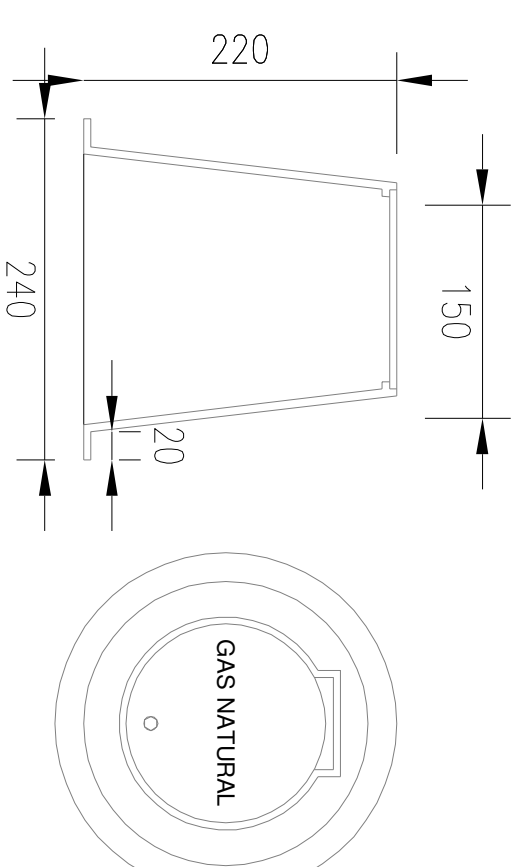


## REFERENCIAS

- 1 SOCKOLET Ø 3"x3/4" 3000 LBS
- 2 TUBERIA Ø3/4" SCH 80 - LONGITUD=100mm
- 3 VALVULA ESFERICA CONEXION TIPO SOCKET WOG Ø 3/4" - 2000 LBS
- 4 TUBERIA Ø3/4" SCH 80 - LA LONGITUD SE DEFINIRA EN OBRA. CON EL CONJUNTO ARMADO: EL TAPON 10 NO DEBERA TOCAR LAS TAPAS Y DEBE QUEDAR A UNA DISTANCIA DE NIVEL DE VEREDA NO MAYOR A 5cm.
- 5 VALVULA ESFERICA CONEXION TIPO SOCKET x NPT WOG Ø 3/4" - 2000 LBS
- 6 REGISTRO DE POLIVALVULA PARA VENTEOS
- 7 REGISTRO DE POLIVALVULA PARA EXTENSOR
- 8 VALVULA ESFERICA Ø 3" ANSI 150 / CON EXTENSOR
- 9 CAÑO CAMISA DE PVC: PARA LAS TOMAS DE PRESION Ø6", PARA EL EXTENSOR Ø12"
- 10 REDUCCION CAMISA DE PVC: Ø12" - Ø8" - L
- 11 REDUCCION CAMISA DE PVC: Ø8" - Ø6" - L
- 12 ASEGURAR EN UNA MISMA LOSA DE HORMIGON UN CONCRETO Y FIRME ANCLAJE DE LAS TAPAS EN TODOS LOS CASOS DE COLOCACION, VEREDA, CALZADA O TIERRA
- 13 TAPON MACHO ROSCADO NPT Ø3/4" - 3000 LBS
- 14 PIEDRA CHANCADA 6"







### DETALLE DE REGISTRO DE POLIVALVULA PARA VENTEOS ESC.15



**DETALLE DE REGISTRO DE POLIVALVULA PARA EXTENSOR**  
**ESC. 1:5**

NOTA:

- |  |   |                         |
|--|---|-------------------------|
| - TODAS LAS VALVULAS OPERATIVAS DE EMERGENCIA DEBERAN CONTAR CON TOMAS DE PRESION  |  |                         |
| - CUANDO LA VALVULA SE ENCUENTRE POR DEBAJO DE UNA SUPERFICIE NO PAVIMENTADA, SE COLOCARA EL BLOQUE DE CONCRETO INDICADO |  |                         |
| - EL RECUBRIMIENTO DE ACCESORIOS, VALVULAS Y OTRO ELEMENTOS EN SISTEMAS DE TUBERIAS SERÁ CON EPOXICO LIQUIDO R - 100     |  | EMISION PARA APROBACION |
| - LA TUBERIA ENTERRADA LLEVARA REVESTIMIENTO TIPO TRICAPA, SEGUN ESPECIFICACION TECNICA                                  |  | EMISION PARA APROBACION |

1	EMISION PARA APROBACION	08.09.06	J.E.D.S.	J.V.M.	E.V.T.
0	EMISION PARA APROBACION	26.07.06	J.E.D.S.	J.V.M.	E.V.T.
REVISION	DESCRIPCION	FECHA	EJECUTO	CONTROL	APROBACION

REPUBLICA DEL PERU				
LIMA CIUDAD CAPITAL Y PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO				
PROYECTO				
"DISTRIBUCION DE GAS NATURAL EN ZONAS INDUSTRIALES EN LIMA Y CALLAO"				
CONTRATISTA:		LAMINA:		
PLANO:		PLANO DE DETALLE		
VALVULA DE BLOQUEO ENTERRADA		DT-VBE-02		
PARA GASODUCTOS		03"		
REVISADO:	DIBUJO:	REVISION:	ESCALA:	FECHA:
ING. J.V.M.	J.E.D.S.	01	S/E	SEPTIEMBRE-2006
CONTRATANTE: GENERALIDADES				